مناطق الدماغ الجديدة

تأليف

Pr. Bernard Sablonnière

ترجمة

أ. د. محمد أحمد طجو



دار جامعة الملك سعود للنشر

KING SAUD UNIVERSITY PRESS

مناطق الدماغ الجديدة

تأليف Pr. Bernard Sablonnière

ترجمة: أ. د. محمد أحمد طجو

2020

لا يمكن أن يتوقف الإنسان عن اكتشاف الدماغ. يدعونا برنار سابلونيير في هذا الكتاب إلى استكشاف مناطقه التي لا يزال قسم كبير منها مجهولاً. ويرسم لنا خريطته، ويحصي وظائفه ومآثره، الذاكرة، والانفعالات والعواطف والتفاؤل أو العبقرية. فالدماغ مفتاح كل مواهبنا، ومصدر قدرتنا الهائلة على التكيف والتجديد.

لا شيء محسوم نهائياً في الدماغ، الدماغ يُرمم، ويُحَسِّنُ، ويتيح لنا التعلم، والاختراع، ويتدارك اخفاقاته المحتملة. فآلاف آلاف المليارات من الوصلات التي يتكون منها، والتي تتشابك بطول ٦٠ ألف كم تتجدد باستمرار، وفقاً لجيناتنا، وتعليمنا، وعلاقاتنا، وتعلمنا.

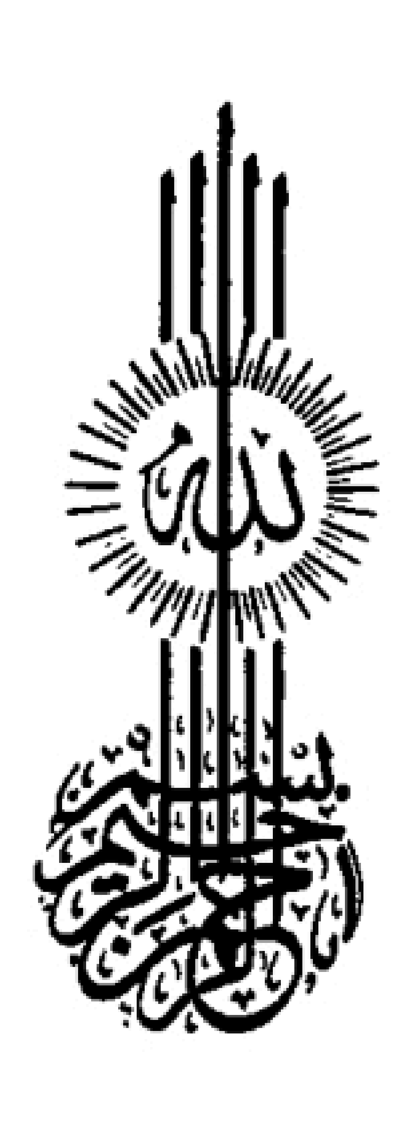
يوضح هذا الكتاب أيضاً، وهو بمثابة جغرافية حقيقة لتضاريس الدماغ كلها، كيفية المحافظة على ثرواته وتنميها، لكي نتمتع بحياة أفضل وعمر أطول...وأكثر سعادة.



https://ksupress.ksu.edu.sa



ISBN 978-603-507-831-3



مناطق الدماغ الجديدة

تأليف

Pr.Bernard Sablonnière

ترجمة

أ. د. محمد أحمد طجو

أستاذ قسم اللغة الفرنسية والترجمة – كلية اللغات والترجمة

جامعة الملك سعود



ص.ب ٦٨٩٥٣ - الرياض ١١٥٣٧ المملكة العربية السعودية

فهرسة مكتبة الملك فهد الوطنية أثناء النشر

سابلونيير ، برنار

مناطق الدماغ الجديدة / برنار سابلونيير؛ محمد أحمد طجو – الرياض ، ١٤٤١

١٧٣ ص؛ ١٧سم × ٢٤ سم

ردمك: ٣- ٨٣١ - ٥٠٧ - ٦٠٣ - ٩٧٨

١ – الدماغ   أ. طجو ، محمد أحمد (مترجم)   ب. (العنوان)

ديوي ٦١٢,٨٢   ١٤٤١/٤٦٢٤

رقم الإيداع: ١٤٤١/٤٦٢٤

ردمك: ٣- ٨٣١ - ٥٠٧ - ٦٠٣ - ٩٧٨

هذه ترجمة عربية محكمة صادرة عن مركز الترجمة بالجامعة لكتاب:

Les nouveaux territoires du cerveau
By:Bernard Sablonniere
©Odile Jacob, Avril 2016

وقد وافق المجلس العلمي على نشرها في اجتماعه السادس للعام الدراسي ١٤٤٠/ ١٤٤١هـ، المعقود بتاريخ ١٤/ ٣/ ١٤٤١هـ، الموافق ١١/ ١١/ ٢٠١٩م.



إهداء

أهدي هذا العمل إلى وَالِدَيَّ ، رحمهما الله وأسكنهما فسيح جناته

نبذة عن المترجم

أ. د. محمد أحمد طجو

– من مواليد حلب/ سوريا ١٩٥٧ م. حاصل على شهادة الدكتوراه في الأدب الفرنسي الحديث من جامعة بواتييه Poitiers في فرنسا عام ١٩٨٩ م.

– أستاذ في جامعة حلب سابقاً والملك سعود حالياً.

– مترجم محلَّف معتمد من وزارة العدل السورية منذ ٢/ ١١/ ١٩٩٥ م.

– نشر العديد من البحوث والترجمات في المجلات العلمية المحكمة والثقافية.

من مؤلفاته

–*تطبيقات عملية في الترجمة المختصة، فرنسي/ عربي*، جامعة الملك سعود، الرياض، ٢٠٠٩ م.

– *التخطيط والسياسات اللغوية في دول البلطيق: ليتوانيا، ولاتفيا، وإستونيا*، Austin Macauley Publishers، ٢٠١٩ م.

من ترجماته

– *النقد الأدبي الفرنسي في القرن العشرين*، تأليف: ميشيل جاريتي، جامعة الملك سعود، الرياض، ٢٠٠٤ م.

– *الترجمة فهمها وتعلمها*، تأليف: دانييل جيل، جامعة الملك سعود، الرياض، ٢٠٠٩ م (جائزة أفضل كتاب مترجم في مجال العلوم الإنسانية في معرض الكويت للكتاب لعام ٢٠١٠ م).

– *مدخل إلى علم الترجمة. التأمل في الترجمة ماضياً وحاضراً ومستقبلاً*، تأليف ماتيو غيدير، جامعة الملك سعود، الرياض، ٢٠١٢ م.

- *كيف يدير الدماغ مصالحي. علم الاقتصاد العصبي*، تأليف: ساشا بورجوا جيروند، كتاب العربية ١٧٥، الرياض، ٢٠١٤م.

- *طب الشيخوخة*، تأليف كريستوف دو جاجيه، مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية وكتاب العربية، الرياض، ٢٠١٤.

- *تاريخ العلوم وفلسفتها*، تحرير توماس لوبلتييه، كتاب العربية ١٩٥، الرياض، ٢٠١٧ م (القائمة القصيرة في جائزة الشيخ زايد للكتاب الدورة الثانية عشرة ٢٠١٧/ ٢٠١٨ م).

مقدمة المترجم

الحمد لله رب العالمين، والصلاة والسلام على أشرف الأنبياء والمرسلين سيدنا محمد صلى الله عليه وسلم وعلى أهله وصحبه أجمعين.

تقوم الترجمة بدور حيوي في نقل المعرفة الإنسانية فتفتح العيون وتنير العقول، وتقرب بين الشعوب على الرغم من اختلاف العادات والثقافات. وقد ازداد اهتمام المملكة العربية السعودية في السنوات الأخيرة بالترجمة فشجعت المترجمين على نقل الكتب الأجنبية إلى العربية، سعياً وراء نقل المعرفة والثقافة، وبحثاً عن كل جديد ومفيد وممتع، ومحاولة لمواكبة ركب الحضارة.

وعلوم الأعصاب والدماغ من العلوم الحديثة التي تلقى اهتماماً متزايداً، والتي تسعى باستمرار إلى اكتشاف المزيد من أسرار الدماغ. وخلال السنوات الخمس الماضية كنت أبحث دائماً عن الكتب العلمية التي تجمع بين الفائدة والمتعة. وقد وجدت ضالتي في هذا الكتاب: كتاب (*مناطق الدماغ الجديدة*). وقد استمتعت واستفدت شخصياً بقراءته وترجمته مثلما استمتعت سابقاً بقراءة كتاب (*كيف يدير الدماغ مصالحي. علم الاقتصاد العصبي*)[1] بقلم ساشا بورجوا جيروند وترجمته، وهو كتاب يوضح دور العواطف في اتخاذ القرار، وكذا دور تطور تقنيات تصوير الدماغ في تسهيل البحوث في علم الاقتصاد العصبي.

وكتاب (*مناطق الدماغ الجديدة*) كتاب علمي يشرح أداء الدماغ وبعض خصائصه، ويستعرض بالتالي مفاهيم في غاية الأهمية، مثل الذاكرة والتعلم والشعور والرفاهية وشيخوخة الدماغ. وعلى الرغم من أنه كتاب علمي، إلا أن بوسع جميع القراء أن يفهموه وأن يستفيدوا منه! يستخدم المؤلف في الواقع مفردات بسيطة وواضحة، ويقدم أمثلة عدة تتيح التقريب بين مصطلح

---

(١) كتاب العربية، ١٧٥، الرياض، ١٤٣٥هـ.

علمي وشيء ملموس يعرفه أي شخص (مثل الأسلاك الكهربائية أو الكابلات لتجسيد المحورات العصبية axones). ويعمق المُؤَلِّفُ معرفتنا بالدماغ، ويستشهد بالعديد من العلماء والباحثين من جميع أنحاء العالم، الأمر الذي يدل على مصداقيته، وعلى أهمية تطور البحوث المتعلقة بالدماغ.

في الكتاب شرح واف، على سبيل المثال لا الحصر، للذاكرة وأنواعها، وللتعلم، وللإجهاد، ولشيخوخة الدماغ، ولأعدائه. إننا نعلم أن التعلم المتتابع يقوي شبكة العصبونات نفسها فتصبح أكثر فأكثر تعقيداً، وأن تعلم تمرين جديد هو الذي يعزز اندماج العصبونات الجديدة وليس تمرين الدماغ على ممارسة التمرين نفسه، وأن تخلق النسيج العصبي يتيح التكيف مع البيئة. ومن الأسهل تعلم شيء ما عندما نكون قد تعلمنا شيئاً مشابهاً بالفعل. ونعلم أيضاً أن الانطباعة engramme هي الإدراك الأولي للحفظ، وأن تكرارها يتيح تذكر المزيد من التفاصيل. وأن غياب المثيرات الخارجية، والغلوتامات، والنورادرينالين، والدافع، والتكرار، هي مفاتيح الحفظ. وأن دارة الحصين تقوم على المكان والشيء والرائحة.وهناك تسعة أشكال من الذكاء: الذكاء الرياضي المنطقي، والذكاء اللغوي، والذكاء الموسيقي، والذكاء البدني الحركي، والذكاء التفاعلي، والذكاء البصري والمكاني، والذكاء الذاتي، والذكاء الطبيعي، والذكاء الوجودي. وهناك أشكال مختلفة من الذاكرة: الفورية، والعرضية، والدلالية، والعاملة أو الإجرائية أيضاً.

ويتصف الدماغ باللدونة، وتفيد هذه اللدونة في التعلم. وهو فضولي، ويحتاج لاكتشاف آفاق جديدة باستمرار، وإلا فإنه "يصدأ"، ويتنكس. والاهتمام، والحركة، والحيوية أمور تخدمه. وهو يثمن ذلك: "إنه يكافئنا فيطلق النوروتروفينات، التي ترمم الوصلات التالفة، ويُسهل تكون وصلات جديدة، أكثر فعالية...

في هذا الكتاب، وفي كتاب سابق بعنوان *الدماغ. مفاتيح تطوره وطول عمره*[٢]، شرح واف أيضاً، لكيفية الحفاظ على صحة الدماغ الجيدة. يذكر سابلونيير في هذا السياق ستة أعداء للدماغ:

١ – الإجهاد: يمكن أن يكون الإجهاد مفيداً أو ضاراً للدماغ، اعتماداً على شدته ومدته. فهو مفيد عندما تكون مدته قصيرة ويكون متكيفاً، إذ يعزز عندئذ ديناميتنا واتخاذ القرار. وهو ضار في

(٢) Bernard Sablonnière , *Le cerveau: les clés de son développement et de sa longévité*, Paris, Odile Jacobe, 2015, 264 pages.

حالة استمرار الصراع لفترة طويلة واتحاد آثار هرمونين من هرمونات التوتر: الأدرينالين والكورتيزول. يضطر الدماغ بعد ذلك إلى الحد من ديناميته ومن عمل المشابك العصبية: إنه يجبرنا على الراحة.

٢- تناول المؤثرات العقلية المزمن: يستخدم دماغنا، حتى يعمل، العديد من المفاتيح الكيميائية أو الناقلات العصبية. وتقلد المؤثرات العقلية أو تعرقل عمل هذه المفاتيح. عندما تعطل المؤثرات العقلية سلوكياتنا، فإنها تعطل الآليات الطبيعية لإصلاح الدوائر العصبية، ويمكن أن تؤدي إلى آثار سامة لا رجعة فيها.

٣- نمط الحياة المستقرة: خلق العضل والدماغ ليتفقا. إننا نعلم الآن بوجود إشارات كيميائية تصدرها العضلات قادرة على تحفيز إنتاج عصبونات جديدة، لتحفيز وظائفنا المعرفية. هذه الإشارة عبارة عن بروتين، يسمى الإريزين Irisine، الذي تحفز إفرازه بقوة ممارسة الرياضة التي لا تقل عن ٣٠ دقيقة، والتي تتكرر بانتظام.

٤- الخمول الفكري: تمرين العقل هو إثارته لتعزيز فعالية داراته، ولإتاحة تحسين قدراتنا العقلية. وتشكل البيئة المعرفية الغنية، والفضول الغامر، وأنشطة التعلم المتعددة الدماغ بتحفيز بقاء الخلايا العصبية الجديدة وبتحقيق الاستقرار في الاتصال.

٥- العزلة الاجتماعية: يدرك العقل البشري عواطف الآخرين ويشاركها، ويتعاطف معهم. تثير هذه القدرة الدماغ الحوفي، وتنشط إطلاق مفتاح كيميائي هو الأوكسيتوسين، الأمر الذي يحسن المشاركة والتبادل. هذا المفتاح له تأثير محفز في دارات الدماغ، وذلك بالحد من تأثيرات الإجهاد بشكل كبير.

٦- زيادة الدهون والسكريات: يعطل الإفراط في تناول السعرات الحرارية والسكريات والدهون عمل الخلايا، وينتج إشارات التهابية تتلف الأوعية الدموية في الدماغ. وهذا يؤدي تدريجياً إلى الإجهاد الخلوي الذي يحد كثيراً من قدرة الوصلات العصبونية على التجدد الطبيعي!

ويخلص برنار سابلونيير في كتاب (*مناطق الدماغ الجديدة*) إلى أن "الدماغ غني، وحساس، ولكنه يتغير باستمرار، مثل الطفيلي الذي يستفيد بشكل دائم من الظروف البيئية ليكيف داراته

بشكل أفضل مع التنفيذ الأمثل لسلوكياتنا. إنه إذن العامل الرئيس لبقائنا، ولكن لتفاؤلنا أيضاً، ولطول عمرنا".

ويطيب لي في الختام أن أتوجه بالشكر إلى السادة المحكمين الذين تفضلوا بقراءة المخطوطة والتعليق عليها، وإلى كل من أسهم في نشر هذا العمل، وأخص بالذكر مركز الترجمة، والمجلس العلمي، ودار جامعة الملك سعود للنشر بجامعة الملك سعود.

والله ولي التوفيق.

محمد أحمد طجو

مقدمة المؤلف

"ينبغي أن يعرف الإنسان أن الفرح، والسرور، والضحك، والتسلية، والهم، والحزن، والإحباط، والدموع لا يمكن أن تصدر إلا عن الدماغ. وهكذا، إننا نكتسب الحكمة والمعرفة بصورة فريدة، ونستطيع أن نرى وأن نسمع، وأن نقدر ما هو ذكي أو أحمق، وما هو الخير أو الشر، وما هو حلو المذاق أو من دون نكهة... فبفضل هذا العضو نفسه يمكن أن يصبح المرء مجنوناً وخرفاً، وأن يستبد به الخوف أو القلق... وأعتقد والحالة هذه أن الدماغ يمارس أعظم سلطة على الإنسان".

أبقراط، *الصرع أو المرض المقدس*

السلطة الداخلية

إذا كان كل منا يحس، ويقدر، ويتذكر، ويتكيف، ويقرر، فإن ذلك يتم بفضل الدماغ. وإذا بقي الدماغ ردحاً طويلاً من الزمن عضواً غامضاً ويصعب فهمه، فإنه يكشف لنا اليوم كثيراً من أسراره بفضل تقدم علم النفس العصبي، والتصوير. وسوف يتوصل الباحثون غداً شيئاً فشيئاً - بفضل تعقد وصلاته أو مشبكاته العصبية[1] التي لا تحصى - إلى حل رموزه بمساعدة الحاسبات القادرة على نمذجة عمله.

---

(١) (المشبك العصبي synapse هو المكان الذي يحتك فيه المحوار أو المحور العصبي لعصبون ما بتغصنات dentrites عصبون آخر أو بخلية جسدية، ويؤثر فيهما. والمحوار امتداد للعصبون ينقل الرسالة العصبية من هذا العصبون إلى عصبونات أخرى. المترجم).

الدماغ مجتمع حقيقي من الكائنات الخفية، أي العصبونات، التي لا تتواصل فقط فيما بينها بشكل جيد جداً، وإنما أيضاً التي تعرف بعضها بعضاً، لتقدم عملاً من خلال شبكة بنيت بشكل رائع، ينفذ فيها كل عصبون مهمته من أجل الاستخدام المشترك. فالدماغ يقدم لنا أحياناً ميزات قدراته المدهشة، بدءاً بحفظ حدث في أدق تفاصيله، خلال ٥٠ عاماً أو أكثر، وانتهاء بالقشعريرة الموسيقية[٢]. هذه القدرات تجعله متميزاً كلياً، وخاصاً بكل فرد، لأن تفاعلنا مع الآخرين ومع بيئتنا يُعدِّل في كل دقيقة من حياتنا وصلات عصبوناته ويضبطها.

ثنايا وتجاويف دماغية

كيف يتصور الإنسان المعاصر الدماغ، منذ أطروحات أبقراط وأرسطو[٣]؟ يبدو أن ٢٤ قرناً كانت غير كافية لتكوين فكرة دقيقة عن دوره في سلوكياتنا، وأفكارنا، وأحلامنا. أعلن أبقراط حوالي ٤٢٠ ق.م. أن الدماغ ليس مسؤولاً عن الانفعال فحسب لكنه أيضاً موطن الذكاء. وقد زعم أرسطو بعد ٢٤عاماً أن العقل مركزه القلب، وأن دور الدماغ تبريد الدم الذي يأتي من القلب. وكان يمكن بذلك تفسير العقل بالقدرة الكبيرة على تبريد الدماغ. بعد ذلك، أسس هيروفيلوس

---

(٢) (انظر مقالاً بعنوان: "السر وراء القشعريرة المرافقة للموسيقى"، موقع الباحثون السوريون، الرابط: http://www.syr-res.com/article/5862.html. المترجم).

(٣) (نشير في هذا السياق إلى أن الفلسفة اليونانية كان لها السبق في الاهتمام في دراسة العقل، فهو أداتها. وقد كان فيثاغورث Pythagore (٥٨٠-٤٩٥ ق.م) وإيمبيدوكليس Empedocles (٤٩٠-٤٣٠ ق.م) أول من تحدثا عن الروح والذات الإنسانية التي وجدت قبل وجود الأبدان، وأنها هي سيد هذه الجسد، ويمكن أن تفارق الجسد مؤقتاً ويظل الإنسان حياً. وقد تبنى أفلاطون Platon (٤٢٨-٣٤٧ ق.م) المفهوم السابق، ورأى أن الآلهة التي جعلت الكون كروياً جعلت للإنسان العينين، ككرتين من عطايا السماء، كما جعلت الرأس (الكروي تقريباً) بمثابة الملك على كل الجسد، ومن ثم فهو الجدير بأن يكون موطن العقل. ويتفق أبقراط Hippocrate (٤٦٠-٣٧٠ ق.م) مع أفلاطون في رأيه، ويرى أن الدماغ مسؤول عن التفكير والانفعال، وأنه مصدر سعادتنا وفرحنا، كما أنه مصدر ألمنا وحزننا وندمنا ودموعنا. أما أرسطو Aristote (٣٨٤-٣٢٢ ق.م) فيؤكد أن العقل مركزه القلب، فالدفء يعني الحياة، ويضخ القلب الدم الدافئ، وهو جدير بأن يكون مقر العقل... انظر: د. عمرو شريف، *ثم صار المخ عقلا*. نور للنشر والتوزيع، ٢٠١٧، ص ٢٠. المترجم).

Hérophile[٤] لأول مرة وإيراسيستراتوس Erasistrate[٥]، وهما طبيبان إغريقيان، مدرستين للطب في سنيدوس Cnide وجزيرة كوس Cos. أجرى إيراسيستراتوس، الذي كان حفيد أرسطو، تشريحاً لبعض الأدمغة حوالي عام ٢٨٠ ق.م. وقد شغل باله، بملاحظة نصفي الدماغ والمخيخ، ثنايا سطح الدماغ أو تلافيفه، التي سبق أن وصفها المصريون قبل أكثر من ٤٠ قرناً، وهو أمر كان إيراسيستراتوس يجهله. وقد قارن بين هذه التلافيف في دماغ مختلف الحيوانات ودماغ الإنسان، وأكد أن هذه الثنايا هي مقر الذكاء. وبعيداً جداً عن معرفة وجود الخلايا وعصبوناتها في الدماغ، توقع إيراسيستراتوس مع ذلك المفهوم القائل إن سطح الدماغ أو قشرته التي تتضمن لدى الإنسان ١٦ مليار عصبون هو مقر الذكاء- وهو أمر صحيح جزئياً. وقد كتب قائلا: " التلافيف أكثر عدداً لدى الإنسان من الحيوان، لأن الإنسان يتفوق على الحيوان من خلال التفكير والعقل". وبعد حوالي أربعة قرون، أجرى جالينوس Galien، وهو طبيب إغريقي للمصارعين، تشريحاً لأدمغة الحيوانات. وقد اعترض على دور التلافيف في الذكاء، وأجاب إيراسيستراتوس قائلاً: لا أشاركك الرأي لأن الحمير باعتبارها مخبولة وغبية ينبغي أن تمتلك، وفقاً لهذه القاعدة، دماغاً بسيطاً كلياً، من دون أي ثلم" (*De usus partium*, livre 3, chap. XIII). وقد اكتشف جالينوس تجاويف سائلية في الدماغ، وهي تجاويف ممتلئة بالأخلاط humeurs. فهو يرى أن هذه التجاويف هي التي تحرك الأخلاط وتعيد توزيعها، من خلال الأعصاب، على الأعضاء لا سيما العضلات. ويعتبر أبقراط أن الدماغ يشارك في توازن أخلاط الجسم (الدم، واللمفا، والمرارة الصفراء، والمرارة السوداء) فيسهل صحة الجسم الجيدة. وقد أكد جالينوس الذي أهمل تفاصيل نصفي الدماغ وشكلهما أن هذه الأخلاط تنقل "الأرواح الحيوانية"، وأنها سوائل تجري في الجسم عبر الأعصاب، مُجسداً مقدماً، من دون أن

---

(٤) (هيروفيلوس الخلقدوني (٣٣٥ -٢٨٠ ق. م.) هو جراح وعالم تشريح يوناني. أصله من خلقدونية عاش شطراً كبيراً من حياته في الإسكندرية حيث أسس مدرسة لتعليم التشريح. يُعرف في كثير من الأحيان بـ "أبي علم التشريح". المترجم).

(٥) (إيراسيستراتوس هو طبيب وعالم تشريح يوناني من أهل القرن الثالث قبل الميلاد. المترجم).

يعلم، القدرة على إرسال رسائل كيميائية إلى العديد من الأعضاء انطلاقاً من الدماغ. فالمبادئ الحيوية أو الأخلاط يفترض أنها صنعت في القلب، وتحولت إلى مبادئ روحية.

لم تتغير المعارف المتعلقة بالدماغ خلال حوالي سبعة قرون، لأنه لم يكن أحد يجرؤ على ممارسة التشريح. وقد اقترح نيميز Némèse في القرن الخامس النماذج الأولى لتموضع وظائف الدماغ. ولكن لم يتغير أي شيء، فالتجاويف هي المقر الوحيد للقدرات الذهنية: التجويف الأمامي هو ركن التخيل، ويؤوي التجويف المتوسط العقل، والتجويف الخلفي مقر الذاكرة. وتطلب الأمر انتظارعام١٦٦٤والملاحظات التشريحية التي سجلها الطبيب البريطاني توماس ويليس Thomas Willis[٦]، لكي يتم التوصل إلى وصف معاصر ودقيق لمختلف أجزاء الدماغ. وقد بدأ عندئذ الاهتمام الحقيقي للمختصين في علم التشريح، القائم على تموضع كل قدراتنا الذهنية في الدماغ بطريقة دقيقة: العقل، والفكر، والتخيل، والحركة الإرادية، إلخ. وقد تم استبعاد الاعتقاد بدور رئيس لتجاويف الدماغ. فالمختصون في التشريح يهتمون بالمادة الرمادية وبتلافيف الدماغ، ويفترضون أن لها دوراً أساسياً في قدراتنا الفكرية. وقد تطورت بعدئذ نظرية حقيقية للتموضع في الدماغ، تجسد بشكل دقيق مقر كل وظيفة من وظائف الدماغ. فعلى العكس من ديكارت

(٦) (ظهر في منتصف القرن السابع عشر مساهم مهم في حقل علم النفس العصبي. إنه توماس ويليس الذي درس في جامعة أكسفورد وسلك منهجًا وظائفيًا للدماغ والسلوك. أطلق ويليس المصطلحين "نصف الكرة " و"الفص" العائدين على المخ. كان من أوائل الذين استخدموا مصطلحي "علم الأعصاب" و"علم النفس". رفض ويليس فكرة أن الإنسان هو الكائن الوحيد القادر على التفكير العقلاني، ونظر إلى أجزاء مُخصصّة في الدماغ فأتى بنظرية أن الأجزاء العلوية مسؤولة عن الوظائف المعقدة، بينما الأجزاء السفلية مسؤولة عن الوظائف المشابهة للوظائف الموجودة في الحيوانات الأخرى، والتي تحتوي غالبًا على ردود الفعل التلقائية. كان مهتماً بالأشخاص الذين عانوا من الهوس والهستيريا. كان بحثه من أوائل الأبحاث التي جمعت بين علم النفس وعلم الأعصاب لدراسة الأفراد. توصّل ويليس من خلال تمعنه في دراسة الدماغ والسلوك إلى أن الأفعال التلقائية كالتنفس وعدد دقات القلب والعديد من النشاطات الحركية المختلفة كانت مُستحدثة من الأجزاء السُفلية من الدماغ. ورغم أن معظم أعماله عفا عليها الزمان، أظهرت أفكاره أن الدماغ عضوٌ معقّدٌ أكثر مما كان يُعتقد، وقادت المكتشفين إلى الفهم والبناء على نظرياته، خصوصاً عند النظر إلى الاضطرابات والاختلالات الوظيفيّة للدماغ. المترجم).

Descartes[7] الذي افترض التمييز الجسد- العقل، أعلن ويليس في عام ١٦٧٢ أن الروح ليست روحية بشكل خالص، ولكنها جسدية أيضاً. ولم تعد حكراً على علم اللاهوت أو ما وراء الطبيعة، إذ دخلت اليوم في مجال الفلسفة والطب.

من شكل الجمجمة إلى الموهبة في الرياضيات: نحو دماغ ذي أدراج

في عام ١٨٨٠ طور فرانز غال Franz Gall[8]، عالم التشريح العصبي الفرنسي، نظرية التموضع الوظيفي. وخلص إلى أن شكل الجمجمة يعكس بعض سمات الطبع، فأسس بذلك نسقاً

---

(٧) (كان ديكارت معروفًا بعمله على مسألة العقل - الجسد. غالبًا، كان يُنظر إلى أفكاره على أنها فلسفة وتفتقر إلى الخلفية العلمية. ركّز ديكارت في معظم تجاربه التشريحية على الدماغ، تحديدًا الغدة النخامية - التي كان يعتبرها "جوهر الروح" الحقيقي. ما زالت النظرة الروحية مغروسةً تجاه المجال العلمي، وقد قيل إن الجسم فاني، وإن الروحُ خالدة. اعتقد ديكارت أن الغدة النخامية هي مكان تفاعل العقل مع الفناء وآلية الجسم. كان ديكارت في ذلك الوقت مقتنعًا أن العقل يتحكم بسلوك الجسم (التحكم بالإنسان)، وأنه يمكن أيضًا للجسم أن يؤثر في العقل، ويطلق على هذا الاعتقاد مسمّى الثنوية. ينصّ هذا الاعتقاد على أن العقل هو أساس التحكم بالجسم ولكن جسم الإنسان يمكن أن يقاوم أو حتى يؤثر في السلوكيات الأخرى، كانت هذه الفكرة نقطة تحول كبيرة في طريقة نظر العديد من الأطباء إلى الدماغ. لوحظ أن قدرات الدماغ كانت أكثر من مجرد ردود فعل، و لكن أيضاً كانت عقلانية ووظيفيّة في التنظيم والتفكير - أكثر تعقيدًا مما ظن أن الحيوانات يمكن أن تكون. هذه الأفكار تجاهلها العديد من الأطباء لسنوات عدة، مما قاد المجتمع الطبي لتوسيع أفكاره عن الدماغ واستخدام طرق جديدة لفهم دقة عمّله، و تأثيره الكامل على الحياة اليومية، و أيّ علاج يمكن أن يكون مفيدًا لمساعدة المختلين عقليًا... المترجم).

(٨) (صنع عالم التشريح العصبي ووظائف الأعضاء فرانز جوزيف غال تقدماً كبيراً في مجال فهم الدماغ. أوجد غال نظرية أن الشخصية مرتبطة ارتباطًا مباشرًا ببناء الدماغ وتركيبه. من أعظم مساهمات فرانز في حقل علم الأعصاب هو اختراعه لعلم فراسة الدماغPhrénologie وهو علم يدرس العلاقة بين شخصية الإنسان وشكل جمجمته، حيث إن شكل الجمجمة يدل على شكل المخ (الدماغ) و حجمه بداخلها، و بافتراض أن كل جزء من الدماغ يقوم بعدة وظائف فيزيولوجية و مشاعرية، فإن امتلاء أجزاء من الدماغ أو ضمورها يؤثر في هذه الوظائف الفيزيولوجية والمشاعرية، وبالتالي على شخصية الإنسان.

بدأت قصة غال مع علم فراسة الدماغ بينما هو طالب، حيث إنه قام بملاحظة زملائه من الطلاب الذين برعوا في علم اللغة ليتبين أي سمات مشتركه بينهم، ولاحظ أن الكثير منهم كان جاحظ العينين، فربط بين جحوظ العينين

علمياً جديداً هو القحافة، التي أطلق عليها في عام ١٨١٠اسم علم فراسة الدماغ. يرى غال أن النتوءات التي لوحظت في الجمجمة ناجمة عن ضغط فصوص الدماغ المرتبط بوظيفة ذهنية معينة. وقد خصص غال لـ ٢٧ ملكة فكرية موضعاً دقيقاً في سطح الجمجمة. واقترح تحديد تموضع مختلف الملكات الفكرية مثل الطيبة، والسلوك "البار والرحيم"، والميل للإيمان، وكذا "نتوء" الرياضيات الشهير. فهذا النسق العلمي الذي يزعم ربط الملكات الفكرية بالنتوء في الجمجمة لاقى نجاحاً منقطع النظير على الرغم من الغياب الكلي للبراهين العلمية.

استخدم مختصون عديدون في التشريح والجراحة، في السنوات الخمسين التالية، الملاحظات التي تم الحصول عليها لدى جرحى الحرب أو المصابين بمرض خطير في الجمجمة، للتحقق من خرائط تموضع الوظائف الدماغية التي اقترحها غال. وهكذا ظهرت فرضية مقر الكلام في الفصوص الجبهية. ففي عام ١٨٦١ أجرى الجراح الفرنسي بول بروكا Paul Broca تشريحاً لمريض فقد القدرة على الكلام. وبرهن على وجود آفة في منطقة من الفص الجبهي الأيسر، سميت منطقة

والبراعة في اللغة والأدب، ثم بدأ يلاحظ بروز عدة مواضع أخرى في الجمجمة، فأشار إلى ٢٧ موضعاً في الجمجمة ووضح أن هذه المواضع من المخ تعكس سلوكيات الفرد و شخصيته، وأطلق على هذه المواضع اسم الملكات الفكرية Mental Faculties، فقسم الرأس إلى عدة مواضع كلٌ منها مختص بمَلكة فكرية معينة، وإذا كبر نتوء الجمجمة في واحد من هذه المواضع زاد وضوح الصفة المختصة بها هذه المَلكة، وإذا ضمر هذا النتوء ضمر معه وضوح الصفة، وهكذا. وقد كانت هذه النظرية مبنية على العديد من الأدلة المادية والملاحظات الشخصية ولاقت نجاحاً و قبولاً كبيرين.

ومن الطريف أن نذكر هنا أن الشاعر والأديب العباسي المعروف الجاحظ الذي كان بارعاً في علوم اللغة والأدب، كان يتميز بالجحوظ الواضح في عينيه، ومن هنا جاء اسم شهرته، ثم يأتي علم التشريح الحديث ليخبرنا أن الجزء المسؤول عن اللغة في الدماغ يقع فعلياً في الجزء الأمامي السفلي للفص الجبهي من الدماغ، وأن تضخم وامتلاء هذا الجزء من الدماغ قد يؤدي إلى بروز العينين إلى الأمام و جحوظهما، وهذا هو ما تحدث عنه جال في نظريته منذ أكثر من ٢٠٠ عام.

أكمل العمل على هذه النظرية الطبيب الألماني يوهان كاسبار سبورزهايم (1776-1832) Johann Kaspar Spurzheim الذي عكف على دراسة نظرية غال وطورها وجعلها علماً مستقلاً أسماه الفرينولوجيا Phrenology أو علم فراسة الدماغ، وانتشرت الفرينولوجيا في جميع أنحاء أوروبا وأمريكا في أواخر القرن التاسع عشر وبدايات القرن العشرين وكانت هي الفراسة المعتمدة فعلياً في ذلك الوقت. المترجم).

الكلام، التي أطلق عليها لاحقاً اسم "منطقة بروكا". وقد أتاحت نتيجة تنظيم تموضع الدماغ هذه تحديد وجود ٥٢ منطقة دماغية مسؤولة عن عدد كبير من الوظائف، مثل الحركة الإرادية، والرؤية المكانية، وفهم الكلمات، وتكون اللغة أو أيضاً الإحساس بالسرور (انظر كتابنا: *الدماغ. مفاتيح نموه ومدة حياته*، دار أوديل جاكوب، ٢٠١٥). وقد تكلم على هذه الخريطة الدقيقة للمناطق الدماغية عالم التشريح العصبي الألماني كوربينيان برودمانKorbinian Brodmann في عام ١٩٠٩. فهذه الخريطة الدقيقة التي وصفت بأنها "وحدوية" تبقى مع ذلك جزئية جداً لأنها تطبق على سطح الدماغ، وتهمل العديد من الوصلات التحتية. والواقع أن مختلف المناطق يمكن أن تتفاعل لإنشاء قدرات ذهنية أكثر تعقيداً. وفضلاً عن ذلك، لا تستخدم العديد من الوصلات الدماغية القشرة فحسب، أي سطح الدماغ، وإنما أيضاً بنى أكثر عمقاً وتقع أحياناً على بعد عدة سنتميترات من أحد الفصوص. ففي الثلاثينيات، أشارت ملاحظات التحفيز الكهربائي خلال العمليات الجراحية إلى دقة التموضعات الدماغية لمختلف وظائف الدماغ. وهكذا، لاحظ الجراح العصبي الكندي ويلدر بنفلد Wilder Penfield[٩] أن تحفيز الفص الصدغي يسهل انبعاث الذكريات لدى المرضى بعد العملية الجراحية. واكتشف أيضاً على امتداد المنطقة الحركية تمثيلاً جسدياً حقيقياً لحركية الجسم، سمي "أنيسان بنفلد" homoncule de Penfield[١٠]. فقد أطلق الجراح، الذي حفز نقطة محددة من المنطقة الحركية في سطح الدماغ بدقة تصل إلى ميليمتر تقريباً، حركة إصبع أو عضلة الذراع.

من التشريح إلى صورة الفكر: التلصص الدماغي

تخيلوا لو أننا استطعنا الكشف عن الفكر الفوري لشخص معين ببساطة، وذلك بتحديد موضع المنطقة التي تنشط الآن... فإذا عرفنا تعيين موضع المنطقة التي تنشط فيها العصبونات،

---

(٩) (ولد ويلدر جرافيز بنفلد في ٢٦ يناير ١٨٩١ وتوفي في ٥ ابريل ١٩٧٦، وهو رائد جراحة الأعصاب. كان يُطلق عليه "أعظم كندي حي". وسع بنفلد أساليب جراحة المخ وتقنياتها، بما في ذلك تعيين وظائف مناطق مختلفة من الدماغ. وكرس الكثير من تفكيره للعمليات العقلية. من كتبه *لغز العقل* *The mystery of the mind* المترجم).

(١٠) (أنيسان بنفلد أو أنيسان القشرة (أنيسان هو تصغير كلمة إنسان تصغيراً قياسياً وتصغر كلمة إنسان إلى أنيسيان على غير القياس) هو تمثيل فيزيولوجي لجسم الإنسان يقع في الدماغ .أنيسان القشرة هو أيضاً خريطة عصبية تصور أعضاء الجسم من ناحية تشريحية. المترجم).

نستطيع عندئذ أن نتعقب النشاط الذهني للشخص. إن هذا "التلصص" ممكن حالياً بفضل تقنيات التصوير الحديثة.

قام في الستينيات لويس سوكولوف Louis Sokoloff، وهو فيزيولوجي أمريكي، ومن بعده دافيد إنغفارDavid Ingvar، وهو طبيب سويدي، باستحداث تقنية أطلق عليها اسم التصوير الشعاعي الذاتي، تتيح إنتاج الخرائط الأولى للدماغ الوظيفي للإنسان. إلا أن هذه التقنيات شهدت ازدهاراً حقيقياً بدءاً من الثمانينيات باستنادها إلى التقنيتين التاليين: التصوير المقطعي بالإصدار البوزيتروني TEP(١١) ، والتصوير بالرنين المغناطيسي الوظيفي IRMf(١٢). تقوم هاتان التقنيتان على ملاحظة زيادة توسع الأوعية الدموية بفعل تنشيط مجموعة من العصبونات وتعيين موضعها. يشبه الأمر نوعاً ما عضلة تتقلص عند الجهد: تستهلك العضلة عندما تعمل مزيداً من الأوكسجين الذي يورده الدم. ففي التصوير المقطعي بالإصدار البوزيتروني، تستخدم مادة مشعة، مثل الماء المشع بنظير

---

(١١) (مكنت هذه التقنية لأول مرة في تاريخ العلم من رصد نشاط مراكز الدماغ المختلفة في أثناء تأدية وظائفها، ومن ثم مكنت الباحثين من معرفة أي المناطق هي المسؤولة عن أي أنشطة من الدماغ. تعتمد هذه الطريقة على حقن المريض بمحلول من الجلوكوز المشع عن طريق الوريد، ثم يطلب من الشخص تحت الفحص أن يشغل تفكيره بأمور مختلفة، مثل المسائل الحسابية والقصائد العاطفية، والمثيرات الجنسية، مما يدفع مراكز المخ المسؤولة عن هذه الأنشطة إلى العمل ومن ثم حرق المزيد من الجلوكوز، فتتجمع المادة المشعة في هذه المناطق، ويمكن بالتالي رصدها في صور من خلال الإشعاعات التي تصدرها على هيئة بوزيترونات، وتظهر المناطق النشطة حمراء أو صفراء اللون بينما تظهر المناطق الخاملة سوداء. انظر : د. عمرو شريف، *ثم صار المخ عقلاً*، نور للنشر والتوزيع، القاهرة، ٢٠١٧، ص٦٢. المترجم).

(١٢) (تمثل هذه التقنية الطريقة الثانية التي مكنت من رصد مراكز الدماغ المختلفة في أثناء تأدية عملها. ويكون ذلك بدقة مكانية كبيرة لا تتجاوز ٣ ملم. وتعتمد على تعريض دماغ الشخص لمجال مغناطيسي، مما يؤدي إلى تحرير أيونات الهيدروجين، فتأخذ في الدوران داخل الخلية، وعندما تهدأ هذه الأيونات وتستقر فإنها تطلق شحناتها الموجبة بكمية تعتمد على نوع الخلية (خلية عصبية أو بينية أم دموية) . كذلك تعتمد هذه الشحنات على نشاط مناطق الدماغ المختلفة، فهيموغلوبين الدم الذي يحمل الأوكسجين (الدم المؤكسج) يعطي رنيناً مغناطيسياً يختلف عن الهيموغلوبين الذي تخلى عن الأوكسجين لأنسجة الجسم (الدم المختزل). ومن ثم فإن هذا الفحص يحدد المناطق الموجود بها كل من النوعين من الهيموغلوبين، وبالتالي يحدد المناطق النشطة في الدماغ. انظر: المرجع السابق، ص ٦٢. المترجم).

الأوكسجين ١٥. إذا زاد تدفق الدم، فإن تركيز الماء المشع يزداد في هذا المكان. ويكون ذلك بدقة مكانية تقدر بحوالي ٥ ملم. فالحصول على خارطة لمعدل جريان الدم في الدماغ بهذه الطريقة يحتاج لدقيقتين من التسجيل الذي يطلب خلاله من الشخص القيام بمهمة دماغية محددة، مثل التفكير بأحد أقاربه. وأما في التصوير بالرنين المغناطيسي الوظيفي فنستخدم مادة مغناطيسية مسايرة أو بارامغناطيسية مثل الهيموغلوبين الذي يرتبط تركيزه بتدفق الدم في منطقة معينة من الدماغ. وقد نشر العالم الأمريكي كينيث كوونغ Kenneth Kwong منذ عام ١٩٩٢ الصور الأولى للتصوير بالرنين المغناطيسي الوظيفي التي تستخدم هذه التقنية التي أطلق عليها اسم BOLD[١٣]. وأصبح بالإمكان بفضل هذه التقنية متابعة النشاط الدماغي بشكل مستمر بدقة تصل إلى مليمتر.

تكشف الصور التي تم تحليلها بدقة متناهية عن تعقد الدماغ عندما يقوم بمهمة معينة. لنأخذ على سبيل المثال عملية حسابية بسيطة مثل الجمع. فبعد سنوات عدة من البحث، اقترح المختصون في علم النفس العصبي في فريق العالم الفرنسي ستانيسلاس ديهان Stanislas Dehaene الذي فسر متابعة تنشيط دماغ شخص خضع لتنفيذ مهمة محددة بالتفصيل فرضية الرمز الثلاثي. تنشط مناطق مختلفة من الدماغ فتساهم في إنجاز حساب عملية بسيطة: المناطق البصرية (القذالية) أو الصدغية (السمع) تفك رموز العدد المقروء و/ أو المسموع فيتحول إلى رمز مجرد في التلفيف المغزلي (الفص الصدغي). ثم ترسل المعلومات المعالجة إلى الذاكرة العاملة (الفص الجبهي) التي تنفذ عملية الحساب وتهيئ الدماغ لتقديم إجابته. ومع ذلك، يتحقق التلفيف الحزامي (دماغ الانتباه) قبل ذلك من أن العملية المنجزة تلقت كل المعلومات عن السؤال المطروح، ويسأل الدماغ الانفعالي (الجزيرة) قبل تسليم الجواب. وباختصار، إن عملية ذهنية حسابية تستغرق من ثانية إلى ثانيتين تستخدم العديد من العصبونات المشاركة في مختلف المناطق. وإن نتائج هذه الاكتشافات مهمة لا سيما من أجل إتاحة التواصل للأشخاص المصابين بالشلل الكلي. وهكذا، يمكن للمصاب بالشلل أن يفكر بكلمات من دون التمكن من التعبير عنها، باعتبار أنه لا يستطيع الكلام، ولكن

---

(١٣) (BOLD اختصار للعبارة Blood Oxygenation Level Dependant، وهي طريقة تعتمد بشكل أساسي على اختلاف مستوى الأوكسجين في الدم في حالتي النشاط والخمول. المترجم).

الحاسب يستطيع، بفضل التصوير بالرنين المغناطيسي الوظيفي، أن يجد الكلمات المذكورة في فكر المريض.

وصلات مرئية: مشروع كونكتوم

تتيح لـ٩٠ مليار عصبون التي تتبادل معلومات عبر مجسات صغيرة تسمى العصبونات والتغصنات تنظيماً رائعاً في إطار شبكة من الاتصالات في الدماغ. فإنشاء هذه الكابلات الضخمة (حوالي ١٠٠ كم من الأسلاك التي تربط العصبونات ببعضها البعض) يرسم شيئاً فشيئاً خارطة حقيقية للاتصالات على غرار شبكة الطرقات التي تربط المدن والقرى، ولكنها في الدماغ على مستوى مصغر، وفي الفضاء ثلاثي الأبعاد. وهذه هي الخريطة التي ينبغي وضعها لفهم شبكة الاتصالات بين العصبونات، علماً أن عصبوناً واحداً يمكن أن يكون موصولاً بخمسة آلاف عصبون آخر. يهدف مشروع كونكتوم Connectome الذي يموله المعهد الوطني للصحة في الولايات المتحدة إلى رسم خريطة شبكة وصلات الدماغ هذه انطلاقاً من فحص صور حوالي ١٠٠ شخص بالغ في صحة جيدة. وقد بادر إلى هذا المشروع في عام ٢٠٠٥ أولاف سبورنز Olaf Sporns المختص في العلوم العصبية في جامعة إنديانا. وقد جمع بين تقنيتين في التصوير: التصوير بالرنين المغناطيسي الوظيفي IRMf وتصوير الانتشار المُوَتِّر (تصوير الانتشار) IRMd. تعرض التقنية الأخيرة مسار جزيئات الماء في الأنابيب الدقيقة التي تصل بين العصبونات التي يطلق عليها المحوارات. تظهر الصور التي تم الحصول عليها تشابكاً لخطوط تصور مسار الوصلات لمسافات طويلة (عدة سنتيمترات أحياناً). وسوف يتيح هذا المشروع فهماً أفضل لعمل شبكة الوصلات هذه، وتحديد مناطق الدماغ التي يتصل بعضها بالبعض الآخر، وتقديم أفكار جديدة عن آليات ترميم الدماغ في الآفات المقترنة بالنزيف أو بأمراض الدماغ.

ثمة مثال جيد على الدور المهم للوصلات الدماغية يقدمه لنا عمل القشرة الحزامية، وهو انثناء يقع خلف القشرة الجبهية. وتلتقي هذه المنطقة مع الفص الجبهي، مقر التفكير، وتتصل بمناطق عدة من الدماغ، مشاركة في تفسير المعلومات الخارجية. والمدهش في الأمر أن هذه المنطقة الصغيرة من الدماغ التي تنمو في نهاية الشهر الثالث من الحمل أساسية لفعاليتنا الإدراكية، ولكنها تقوم أيضاً

بدور في القدرة على التفاعل مع الحزن والاكتئاب. ويعدل الجزء الخلفي منها الانتباه، ويتحكم بالتنافس، والدافعية، واكتشاف الأخطاء، بإثارة الذاكرة العاملة الواقعة في القشرة الجبهية. أما الجزء الجوفي منها فيتصل بقوة بدماغ الانفعالات، الواقع في الخلف، ويقيِّم المعلومات الانفعالية. إن درجة لا تماثل هذه المناطق في الدماغ الأيمن والدماغ الأيسر متعلقة بزيادة فعالية تواصل العصبونات. وما يثير الفضول أن زيادة تنشيط القشرة الخلفية تكبح أثر الانفعالات في فعالية الاستجابة واتخاذ القرار أثناء تنفيذ الاختبارات حيث يواجه المنطق صراعاً (يفترض فيه سؤال دماغ الانفعالات). يعني ذلك أن الدماغ الذي يزيد فيه اللاتماثل يقوي الوصلات بين الجزأين الخلفي والجوفي للقشرة الحزامية من الجهة نفسها (اليمنى أو اليسرى) فيزيد بذلك من قدرة الفرد على الاستجابة للاختبار.

الدماغ في البعد الرابع: إثارة الدماغ ونمذجته بالحاسب

إننا نتذكر محاولة مدهشة للتنافس بين الإنسان والآلة في لعبة الشطرنج. اقترحت شركة آي بي إم IBM في عام ١٩٧٢ اختبار الذكاء الاصطناعي للحاسب الخارق ديب بلو Deep Blue في مباراة بالشطرنج مع بطل العالم غاري كاسباروف Garry Kasparov. وقد اعترف كاسباروف بتفوق الحاسب في نهاية الأمر. فالآلة التي صممت لحساب سريع جداً لجميع مواقع قطع الشطرنج (٢٠٠ مليون في الثانية) كانت ترد حركة بحركة على الذكاء البشري الذي لم يكن يفكر إلا في ثلاث حركات في الثانية. ففي مثل هذا الحاسب تعمل المعالجات مثل العصبونات، والوصلات بين المعالجات مثل المحوارات[١٤]، ما يوحي بعمل مختلف في الدماغ الذي خلافاً للحاسب، يفرز المعلومات في زمن حقيقي ليكيف قراره وسلوكه.

أطلق باحثو معهد الدماغ المفكرBrain Mind Institute، بتشجيع من هنري ماركرام Henry Markram، الأستاذ في مدرسة لوزان الاتحادية للفنون التطبيقية، وبالتعاون مع شركة آي بي إم، مشروع الدماغ الأزرق Blue Brain. فباستخدامه قوة حسابية كبيرة مثل قوة الحاسب الجين الأزرق Blue Gene، يطمح المشروع إلى نسخ ومحاكاة عمل عصبونات دماغ فأر يتضمن ٧٥ مليون عصبون

(١٤) (المحوار أو المحور العصبي axone امتداد للعصبون ينقل الرسالة العصبية من هذا العصبون إلى عصبونات أخرى. المترجم).

فقط. والهدف هو العمل على عمود صغير من المادة الرمادية بثخانة ١,٥ ملم، أي حوالي عشر حجم إبرة الخياطة، ومحاكاة عمل حوالي ١٠ آلاف عصبون متصلة بخمس طبقات متتالية، قبل نمذجة الاتصالات البينية لعدة أعمدة مجاورة. ولا يزال الأمر في مرحلة محاكاة عدد قليل من الخلايا في مواجهة تعقد الدماغ الكامل. فقد نشر فريق مشروع الدماغ الأزرق في عام ٢٠١٥ مقالاً يصف محاكاة عمل ٣١ ألف عصبون في دماغ فأر، ما يمثل بشكل مؤكد ٤٠ مليون وصلة، و٠,٣ ملم٣ من المادة الرمادية.

بدأ في عام ٢٠١٣ مشروع على نطاق واسع بدعم وتمويل من الاتحاد الأوروبي: مشروع الدماغ البشري Humain Brain Project. يهدف هذا المشروع خلال عشر سنوات إلى محاكاة عمل الدماغ البشري بأكمله بمساعدة حاسب خارق. يضم المشروع، تحت إدارة مدرسة لوزان الاتحادية للفنون التطبيقية، آلاف الباحثين الموزعين على أكثر من ٩٠ جامعة و٢٢ دولة. وهكذا، إن التحدي الذي يمثله الوصول إلى محاكاة عمل الدماغ بأكمله هائل لأن هذا الدماغ يتضمن حوالي ٩٠ مليار عصبون. وإنها لعبة ضخمة حقيقية من الدمى الروسية. والواقع أن كل عمود من المادة الرمادية يقع في منطقة من الدماغ. ويمكن أن تقوم كل منطقة بإنشاء وصلات مع عشرات عدة من المناطق الأخرى، فكل منطقة تقع في فص، ويتضمن الدماغ فصوصاً عدة. ويرتبط الوقت الذي يحتاجه الباحثون لمحاكاة عمل العصبونات من خلال نموذج معلوماتي بمستوى التفصيل الذي يتم التوصل إلى محاكاته. ويمكن أن يتم الانتهاء من التفاعل بين مئات من أعمدة العصبونات الصغيرة في غضون خمس سنوات. وبالمقابل إن نمذجة الوصلات بعيدة المدى بين كل عصبونات الدماغ سوف تستغرق على الأقل أربع سنوات إضافية، أي حتى عام ٢٠٢٤.

المحتويات

الفصل الأول

أداء الدماغ: حتى المستحيل

"لا يُولد الإنسان إنساناً وإنما يُصبح كذلك"

إراسموس Erasmus ، *دراسة في تهذيب الأطفال*، ١٥٣٠

لماذا يكون كل دماغ فريداً؟

يهدف إراسموس إلى جعل التربية مبدأ التهذيب ولكنه يرسم، من دون علمه، ملامح قواعد تعلم تتعلق كثيراً بالمكتسب وقليلاً بالفطري.

إننا ندرك ذلك إدراكاً جيداً عندما نلاحظ الأطفال، والسرعة التي يوفقون فيها إلى حل تمرين، وتعلم درس. ما عدد المرات التي انتابنا فيها القلق، واندهشنا على إثرها من انتصارهم في كد المنطق أو الذاكرة؟ في الواقع، إن دماغ الإنسان معجزة معقدة لا ثبات فيها وغير محددة أبدياً بجيناتنا. ولا يبدو الفطري مهيمناً فعلاً على تكوين الدماغ. يبلغ عدد جينات[1] دودة الربداء الرشيقة *caenorhabditis elegans*[2] ٢٠٥٠٠ جين، أي أقل بقليل من جينات الإنسان التي يبلغ عددها

(١) (الجين gène أو المورث سلسلة حمض نووي ريبي ينتقل وراثياً ويحدد تكوين البروتين. المترجم).

(٢) (الربداء الرشيقة هي أحد أنواع الديدان الأسطوانية الشفافة يبلغ طولها حوالي ١ مم وتعيش في بيئة التربة الرطبة. تعيش معيشة حُرة أي أنها لا تتطفل على الكائنات الحية. تبلغ فترة معيشتها من ثلاثة إلى أربعة أسابيع تقريباً. بدأ البحث في علم الأحياء الجزيئي وعلم الأحياء التنموي اعتماداً على هذه الدودة عام ١٩٧٤ على يد سيدني برانر Sydney Brenner، وهو عالم بيولوجي جنوب أفريقي من أصل ليتواني حصل على جائزة نوبل في الطب في عام ٢٠٠٢ بالمشاركة مع جون سالستون John Sulston وهوارد روبرت هورفيتز Howard Robert Horvitzعن هذه الدودة. وتستخدم الربداء الرشيقة بكثرة منذ ذلك الوقت باعتبارها متعضية نموذجية. المترجم).

٢٠٨٠٠ جين. والحال أن عدد عصبونات[٢] هذه الدودة يبلغ ٣٠٢ ، وأن عددها لدى الإنسان ٩٠ ملياراً! وهكذا، إن قدرات العصبونات على الاتصال هي التي يمكن أن تفسر التغيرية المدهشة لقدرات الإنسان العقلية والمعرفية، وليس عدد الجينات.

لا يتشكل الدماغ منذ الولادة، خلافاً لما كان يُعتقد قبل ثلاثين عاماً، إذ يمارس كل من التربية والتعلم تأثيراً قوياً في قدراته المقبلة. تبرهن دراسة نمو الدماغ على عدم نضج كبير عند الولادة. فقد خلق كل شيء لنكون أحراراً. ينتهي نمو مقاس الدماغ وحجمه في عمر ١٢ أو ١٣ سنة. ويستمر نمو وصلاته حتى عمر ٢٥ سنة. وهذا يعني أن الإنسان لا يصبح ناضجاً دماغياً إلا في عمر ٢٥ سنة. فعظام الجمجمة نفسها لا تكون ملتئمة عند الولادة، ما يسهل مرور الرأس الذي يكون حجمه كبيراً، وتضاعف حجم الدماغ الذي يزن ٤٠٠ غرام ثلاث مرات حتى سن المراهقة. ويتناقض عدم نضج الدماغ ووصلاته لدى الطفل مع النضج المكتسب منذ الولادة لدى القرد الآسيوي الذي يصل أداؤه إلى ٧٥٪ من أداء الإنسان البالغ. وهكذا خُلق كل شيء لدى الإنسان بحيث لا تشكل الوراثة سوى نموذجاً تقريبياً لدماغنا. وينبغي لنا أن نستفيد من التربية والبيئة وثراء التعلم، لنصنعه ونشكله ونجعل منه عضواً فريداً، خاصاً بكل شخص، وبتاريخه، وبتجاربه.

لقد تمت البرهنة على إعادة قولبة وصلاتنا العصبونية هذه على المستوى المجهري أولاً، وذلك بدراسة سرعة المشبكات العصبية. كما لو أننا كنا في غابة، ونريد ملاحظة كثافة الغصينات الدقيقة التي تشكل أدغال أشواك الغابات، والتي تمنعنا من الدخول بين الأشجار. وهكذا، لقد برهن بيتر هتنلوشر Peter Huttenlocher، عالم الأمراض العصبية المتخصص في نمو الدماغ، أن بلوغ الكثافة القصوى لهذه الوصلات يكون عند البلوغ، ولكن خلافاً لما كان يُعتقد، يتبع استبعاد بعض المشبكات العصبية تشكل الجديد منها بوتيرة مرتفعة حتى عمر ٢٠ سنة على الأقل. ومع ذلك، إن تجدد الوصلات هذا، الذي يعد برهاناً على إعادة قولبة الاتصالات العصبية، يبقى فعالاً حتى عمر ٦٠ سنة. ولكن إذا كانت هذه الملاحظات تبرهن أن قدرات تكون الوصلات تتغير بلا انقطاع، فإن هذه التغيرات متقلبة. وهذا ما تمكنت من ملاحظته في عام ٢٠١٣ صوفيا مولر Sophia Mueller

(٢) (العصبون neurone أو الخلية العصبية، خلية أساسية في الجهاز العصبي قادرة على تلقي المعلومات وتحليلها وإنتاجها. يطلق على الجزء الأساسي منها "الجسم الخلوي" للخلية العصبية. المترجم).

أخصائية الأشعة في جامعة ميونيخ. حللت مولر مناطق الدماغ التي يكون فيها تنشيط هذه الوصلات الأكثر قوة بفضل التصوير بالرنين المغناطيسي الوظيفي IRMf، وبرهنت على أن بعض مناطق الدماغ فقط تظهر اختلافات واضحة في كثافة وصلاتها بحسب الأشخاص. وهكذا، إن وصلات المناطق الحركية والحسية متطابقة تقريباً لدى كل الأشخاص. وبالمقابل، إن المناطق التي تربط الفص الجبهي والفص الجداري وتلك التي تربط القشرة الصدغية تظهر كثافة وصلات متغيرة جداً بحسب الأشخاص الذين تمت دراستهم. وترى هذه الباحثة في ذلك برهاناً على الاختلافات بين الأفراد في السلوك وفي القدرات المعرفية. والحقيقة أن هذه المناطق تشارك في سمات الطبع، وفي تكيف كل فرد مع بيئته: القلق، والمخاطرة، والذاكرة، والتحكم الذاتي، والذكاء. إن هذه الدراسة التي تجمع ملاحظة صور دماغ ٥٧٩ شخصاً تخص ١٣٩ منطقة دماغية غنية عن البيان: تتغير العديد من الدارات تغيراً عميقاً لدى كل منا، وفقاً لحياته، وتربيته، وقدراته على التكيف مع مواقف مختلفة. يضاف إلى هذا أن الوصلات بعيدة المدى (أكثر من ٥ , ٢ سم) هي الأكثر عرضة لتغير كثافتها وفقاً للأشخاص.

قام عمل علمي ثان على فحص عدد كبير من أدمغة توائم حقيقية روته لنا اختصاصية الأوبئة غابرييلا بلوكلاند Gabriella Blockland من خلال الملاحظات التي دونتها في بريسبان الأسترالية. وقد تمكنت من تحديد التأثير الجيني للبيئة بالنسبة إلى كل توأم انطلاقاً من مختلف القياسات التي سجلها التصوير بالرنين المغناطيسي الوظيفي (حجم مناطق الدماغ، وثخن قشرة الدماغ، إلخ). وإنه لمن المهم التوقف عند بعض نتائجه. وهكذا، ترتبط تغيرات الحجم الكلي لمجمل الفصوص الدماغية بالجينات بنسبة ٧٠٪ وبالبيئة بنسبة ٣٠٪، أي بالمكتسب الخاص بكل توأم. وما يلفت النظر أن منطقة صغيرة بحجم الحصين المسؤول عن الذاكرة يتغير حجمها كثيراً لأن هذا الحجم يرتبط بالجينات بنسبة ٥٠٪ وبالظروف البيئية الاجتماعية-التعليمية بنسبة ٥٠٪. وقد لاحظت غابرييلا بلوكلاند بعد تحليل ثخن قشرة الدماغ اختلافات مدهشة. ففي كل مناطق الدماغ تفسر الجينات حوالي ٥٠٪ من التغير الملاحظ، باستثناء القشرة الجبهية الحجاجية والقشرة الحزامية حيث ترتبط التغيرات بظروف الحياة الخاصة بكل فرد بأكثر من ٦٠٪. والحال أن هاتين المنطقتين

مسؤولتان على وجه الخصوص عن اتخاذ القرار الذي ينظم السلوك. وهذا برهان على أن نمو بعض مناطق الدماغ وإعادة قولبتها يتغيران بفعل البيئة وبالحتمية الطبيعية.

إن قشرة الدماغ التي يزداد ثخنها بفعل زيادة عدد العصبونات الكبيرة على وجه الخصوص تعقدت جداً لدرجة أنها أصبحت أكثر فأكثر نضجاً في وقت لاحق، فليكن، خلال تطور القردة العليا[٤] ثلاث سنوات، خمس سنوات، والآن حوالي عشرين سنة بعد الولادة. فكلما تطور الإنسان تركت الجينات مكاناً لتأثير المكتسبات والبيئة. ثمة توضيح يقدم لنا غالباً من خلال الجملة التالية: "مارس الرياضة والمشي فهذا مفيد للصحة". وقد برهن علماء البيولوجيا العصبية على ذلك جيداً لدى الفئران. فممارسة الرياضة تثير في دماغ هذه الحيوانات إفراز السيروتونين، وهو الهرمون المسؤول عن تنظيم الطبع. والحال أن هذا الهرمون ينشط إنتاج عصبونات جديدة، لا سيما في الحصين المسؤول عن الذاكرة. فالسيروتونين الذي يُفرز خلال هذا الإحساس الجدي الذي يصاحب التمرين البدني يساعد بذلك على ظهور عصبونات جديدة، قادرة على إصلاح داراتنا المسؤولة عن عمل الذاكرة.

دماغ التوائم: النسخة ليست لصقاً

يتشابه التوأمان الحقيقيان كثيراً. ومع ذلك إذا كان وجههما متشابها جداً ويشتركان في بصمات متشابهة جداً فإن دماغهما يمكن أن يتصرف بشكل مختلف. كيف نقيم أهمية الفطري والمكتسب في هذه الحالة؟ أثبتت ملاحظات قامت على اختبارات ذكاء أنهما يستخدمان، في أكثر من ٨٠٪ من الحالات ، في مواجهة اختبار في المنطق شوشه لهو مفاجئ ، استراتيجية متطابقة تؤدي أحياناً إلى نتيجة مختلفة. يوضح التصوير أيضاً أن بنية الوصلات مختلفة بما يكفي، لا سيما في الحصين وفي الدماغ الانفعالي. وعلى هذا النحو، تشكل الطبيعة لدى التوائم تصميماً دماغياً متطابقاً لكن تجربتهم المعيشة وإحساسهم في مواجهة حدث مجهول يدفعهم إلى اتخاذ قرار مختلف أحياناً. تظهر هذه الملاحظات بالطبع لدونة الدماغ العجيبة، أي قدرته على التكيف مع كل حالة على حدة، وعلى البقاء طيعاً للظروف الخاصة بكل فرد.

---

(٤) (القردة العليا عبارة عن فصيلة حيوية تتضمن هومو والبونوبو والشمبانزي والغوريلا والأورانغوتان. المترجم).

عندما يشكل المكتسبُ ما هو فطريٌ

يرتبط عدم النضج النسبي للدماغ عند الولادة ببرنامج إنشاء كابلات الوصلات الدماغية الذي يبدأ حوالي الشهر السابع من الحمل وينتهي عند البلوغ تقريباً. فقدرة هذه الوصلات التي تشكلت على التغير والتثبت أو التطور في بعض مناطق الدماغ تحت تأثير التعلم تستمر طوال الحياة، ويسمى هذا باللدونة العصبية. تساعد اللدونة العصبية على خلق تغير متنوع للغاية لدارتنا الدماغية التي ترتبط ارتباطاً مباشراً بقدراتنا المعرفية والسلوكية. ولتوضيح هذا الأمر، حللت دراسات عدة أثر التعلم والتمرين الدماغي على حجم بعض فصوص الدماغ. إذا كنا نملك نفس الجينات التي تتحكم بتطور الوصلات كما هو الأمر لدى الرياضي، فإن استخدام الدماغ وتمرينه يساعدان على إنشاء وصلات جديدة في المنطقة المطلوبة من أجل المهمة المراد تنفيذها.

الدراسات التي تتعلق بهذه النقطة الدقيقة والتي أجريت في السنوات الأخيرة معبرة للغاية. تبرهن ملاحظات إليانور ماغير Eleanor Maguire، المختصة في الجهاز العصبي، في عام ٢٠٠٠، على زيادة حجم الحصين لدى سائقي التكسي الذين لديهم سنوات عدة من الخبرة المهنية المستمرة. ويملك الرياضيون الجامعيون كثافة في المادة الرمادية تفوق المتوسط في الفص الجبهي السفلي الأيسر المسؤول عن التفكير. وبالمثل، لاحظ فريق بريتا هولزل Britta Hölzel المختصة في علم النفس العصبي في بوسطن لدى الذين يمارسون التأمل بانتظام زيادة في حجم فص الجزيرة، وهو منطقة مسؤولة عن الإحساس بالسرور. وذهب عالم النفس جوستن كيم Justin Kim ، في نيو هامشر، أبعد من ذلك أيضاً فقاس كثافة الوصلات بين الفص قبل الجبهي (منطقة مرتبطة بالسلوك) واللوزة (مقر الاستجابة الانفعالية) لدى أشخاص تعرض عليهم صور مفزعة تقريباً. فالذين أثار لديهم الإحساس بالخوف أعلى قدر من القلق يملكون كثافة أقل في الوصلات بين هاتين المنطقتين من الذين كانت استجابتهم الانفعالية أقل إثارة للقلق.

ولكن، ما دور الجينات في ردود الأفعال هذه؟ وكيف تساهم جيناتنا في إنتاج اختلافات دقيقة بين الأفراد؟ يهدف منذ عامين مشروع كبير سمي إنيغما ENIGMA ويضم ٧٠ فريقاً عالمياً إلى التحقق من العوامل الجينية القادرة على تفسير اختلافات طفيفة بين الأفراد في عمل الدماغ، يمكن ملاحظتها بتصوير الدماغ. كانت فكرة الباحثين الأولى في هذا المشروع تقوم على التحقق من

الاختلافات في حجم الحصين. وهذه نقطة مهمة، لأننا نعلم أن الحصين يتعرض حتماً عند الشيخوخة إلى نقص في الحجم يؤدي غالباً إلى تلف في الذاكرة. فهل نتساوى جميعاً في مواجهة هذا التهديد؟ وهل هناك استعداد وراثي يضعف الحصين، حتى لو قمنا بتمرين الدماغ تمريناً جيداً؟ إن فحص أكثر من ١٢٠٠ شخص يثبت أن متغيراً جينياً للجين HRK مرتبط بحجم أكثر ضآلة للحصين، يوافق شيخوخة متسارعة بحوالي أربعة أعوام لدى الذين يملكون هذا المتغير. وفضلاً عن ذلك، إن وجود هذا المتغير مرتبط بأداء أكثر انخفاضاً أثناء اختبارات الذاكرة، وهكذا، حتى إذا كان هذا التأثير محدوداً، فإن هذا النوع من الدراسة يقدم تدريجياً البرهان على تأثير العوامل الوراثية في قدرة دماغنا على مقاومة الشيخوخة. تشير العديد من دراسات التصوير الوظيفي التي تجري حالياً إلى أن الفص الجبهي وحده يظهر أكبر قدر من التغيرية في وصلاته وفقاً للأفراد. فهذا الجزء الصغير من الدماغ هو الأكثر "لدونة" لدى الإنسان، وبالتالي الجزء الأفضل خضوعاً لتأثير البيئة، والأكثر إسهاماً في إثراء الدماغ.

ما هو إذن تأثير جيناتنا في ذكائنا، بما أنه الانعكاس النهائي لبناء جيد لوصلاتنا وكابلاتنا الدماغية؟ طرح باحثون عديدون هذا السؤال. أولاً، يلاحظ أن دور الوراثة في الذكاء هو ٥٠٪ في المتوسط، ولكن هذه النسبة تتغير مع العمر. وهكذا، لا تؤثر الوراثة حتى عمر ١٢ سنة إلا في ٣٠٪ من الأداء المعرفي بينما يصل هذا التأثير إلى ٨٠٪ في عمر ٦٠ سنة. تُفسر هذه النتيجة بارتفاع درجة تغير الوصلات الدماغية خلال الطفولة والبلوغ، وهما مرحلتان تتأثران كثيراً بالتربية والتعلم. وبعد ذلك، يكون تأثير البيئة في تغير الوصلات أكثر ضآلة حتى لو بقي الدماغ لدناً البالغ. وإذا تم قياس القدرات الكلية للذكاء فإنه يلاحظ أن عددا كبيراً من الجينات يتفاعل للإسهام في تحسين مجمل أدائنا المعرفي، وسرعة تفكيرنا، وقدراتنا على التجريد.

لقد أجريت دراسات عدة تبين التأثير الضئيل لعدد كبير من المتغيرات الجينية في قياس نسبة الذكاء QI، إذ يساهم كل منها في تعديل النتيجة بحوالي ١٪ فقط. وفي عام ٢٠١٢، لاحظ فريق بحثي يقوده بول تومبسون Paul Thompson، من خلال التصوير، الارتباط المتبادل بين الكابلات أي تنظيم الألياف العصبية وكثافتها اللذين يمثلا الوصلات العصبية، والأداء الفكري، والمتغيرات الجينية لدى أكثر من ٤٠٠ توأم. تشير النتائج إلى تأثير مهم لثلاثة جينات من أجل أفضل بناء

للوصلات الدماغية يؤدي إلى أفضل أداء فكري. الجين الأول هو OPCML المسؤول عن هجرة المحوارات العصبية أثناء إنشاء الوصلات (جين يوجه نوعاً ما مسار الألياف العصبية في تكوين الوصلات). والجين الثاني، SCN3A، هو قناة صوديوم مسؤولة عن سرعة انتشار السائل العصبي، وبالتالي عن سرعة الاتصالات بين العصبونات. وأما الجين الثالث، HADA، فهو يُرمز أنزيما أساسياً لصنع أغمدة عازلة للألياف العصبية تساعد على تطور الوصلات لدى الطفل. تميل هذه النتائج إلى إثبات أن أداء الذكاء يرتبط ببناء جيد من الوصلات العصبية.

التعلم، صانع الدماغ

يساعد التصوير منذ سنوات عدة على قياس حجم بعض مناطق الدماغ ودرجة تنشيطها بدقة. ويظهر التصوير بالرنين المغناطيسي الوظيفي بشكل مباشر مناطق الدماغ التي تنشط بفعل نشاط دماغي. ففي هذه الحالة تتوسع الأوعية الدموية في المنطقة التي تم تنشيطها، ونرى بفضل الصور التي يعاد تشكيلها على جهاز الحاسب المنطقة التي يحدث فيها تدفق للدم. وبفضل التصوير، درست مجموعات عدة من علماء البيولوجيا العصبية تغيرات دماغ الموسيقيين الممارسين وقارنتها بصور أفراد لا يمارسون هذا النشاط. وسواء تعلق الأمر بالبيانو أو بالكمان، فقد لوحظت زيادة في حجم منطقة من الدماغ الحركي التي تتحكم بحركة الأصابع. ومن جهة أخرى، لا حظ الباحثون زيادة الوصلات بين المنطقة البصرية من الدماغ والدماغ الانفعالي: تساعد تقوية هذه الدارة الموسيقي على توقع الانفعال الذي يتم الإحساس به منذ قراءة توليفته.

أداء مدهش: حكاية وصلات

يرتبط أداؤنا الذهني والمعرفي بمجموعة من الاستعدادات التي تؤول إلى مجموعة من القدرات مثل الانتباه والذاكرة واللغة والمهارة الحركية. يعتبر عالم النفس الأمريكي هوارد غاردنر Howard Gardner أن الدماغ يملك ثمانية أشكال متكاملة من الذكاء: الذكاء اللغوي، والذكاء المنطقي الرياضي، والذكاء المكاني أو القدرة على التوجه، وذكاء الإيقاع الموسيقي، والذكاء الحركي والعضلي، والذكاء الاجتماعي أي القدرة على فهم الآخرين، والذكاء النفسي الذاتي، وأخيراً الذكاء الطبيعي أو القدرة على التعرف على تنوعات الطبيعة وتصنيفها واستخدامها. وقد أشارت دراسات عدة أجريت بتصوير الدماغ إلى نشاط خاص للقشرة قبل الجبهية ولمناطق مختلفة من القشرة بحسب القدرة أو القدرات العقلية أو المعرفية المطلوبة عند اختبار قياس الذكاء. توجد- وفقاً

لملاحظات ريتشارد هاير Richard Haier من جامعة إرفين Irvine في كاليفورنيا- شبكة حقيقية فردانية من الوصلات لدى الذين يحصلون على أداء جيد جداً في هذه الاختبارات (انظر كتابنا: *الدماغ. مفاتيح تطوره وطول عمره*). فسرعة تبادل المعلومات بين مختلف مناطق الدماغ خلال تشكل هذه الشبكة أمر جوهري. ويُعتقد غالباً أنه يمكننا تحسين أدائنا العقلي، ويتصور معظمنا أنه يمكن استخدام جزء من دماغنا حتى من أجل مهام نكون متأكدين فيها من بذل جهد كبير في التفكير. ولكن الواقع مختلف كلياً: إنها مسألة وصلات، أي كابلات العصبونات التي تتشكل منذ نهاية الحمل والتي تكتمل في نهاية مرحلة الطفولة.

في معظم الحالات التي يقرر فيها الفرد اتخاذ موقف ما، تنشط وتتبادل المعلومات مناطق دماغية عدة، غالبا ٥ أو ٦ مناطق، موزعة في أجزاء مختلفة من الدماغ. وفضلاً عن ذلك، غالباً ما تكون سرعة استجابة الدماغ لموقف معين هي التي تختلف لدى الأشخاص. ثمة اختلافات، هنا أيضاً، تُعزى إلى كثافة الوصلات، على سبيل المثال، بين مركز القرار في الفص الجبهي والدماغ العاطفي، تساعدنا على تقييم خطورة العمل الذي سنقوم به. كيف نستكشف هذه الاختلافات في أداء الدماغ؟ يمكن مقارنة دماغ الإنسان مع دماغ الشمبانزي الأقرب إلينا. إن دماغ الإنسان أكبر حجماً، وإن قشرته أكثر امتداداً، وعدد عصبوناته أكثر بكثير: ١٦ ملياراً لدى الإنسان مقابل ٦ مليارات لدى الشمبانزي. ولكن هذه الاختلافات لا تبرهن كلياً على ما يجعل دماغ الإنسان أفضل أداء. استكشفت دراسات عدة منذ بدايات الألفية الثانية، بفضل تصوير الانتِشار المُوَتِّر (تصوير الانتشار) IRMd، كثافة الألياف التي تربط بطول بضعة سنتيمترات مناطق دماغية متباعدة بما يكفي: الفص الصدغي المسؤول عن الكلام والفص الجبهي مقر اتخاذ القرار. وقد لاحظ العلماء بفضل هذه التقنية حالة ألياف الوصلات في الدماغ وكثافتها. فهناك شبكة من الألياف بين هاتين المنطقتين تسمى الحزمة المقوسة. إن مقارنة هذه الحزمة لدى القرد الآسيوي (ماكاك macaque) والشمبانزي والإنسان تشير إلى زيادة في حجمها مع الظهور المتدرج للغة المتمفصلة لدى الإنسان. وإن الزيادة لدى الإنسان هي على وجه الخصوص في مساحة المناطق المتصلة في كل فص. وهكذا، يشير عرض صور الفص الصدغي الأكثر كثافة لدى الشمبانزي والإنسان مقارنة بالقرد الآسيوي إلى ثمرة تنسيق

العضلات التي تتحكم بالحركات المسؤولة ليس فقط عن إصدار الأصوات وإنما أيضاً عن التحكم الدقيق باللغة المتمفصلة.

يُظهر دماغ الإنسان أداءً مدهشاً مقارنة بدماغ الكائنات الأخرى. فمع مساحة تبلغ ٢٠٠٠ سم٢، تنطوي قشرة دماغ الإنسان على ما يكفي من الثنيات للسماح لعدد كبير من العصبونات بالاتصال بالطريقة الأكثر نجاعة. وتعادل قدرتها على التخزين قدرة حاسب بـ ١٢٥٠غيغابايت gigaoctets. ولكن يلاحظ أحياناً أداء العباقرة المدهش أو أصحاب الذاكرة القوية الذين تتمتع ذاكرتهم العاملة بقدرة استثنائية تساعدهم على استظهار قائمة طويلة جداً من الأرقام والكلمات وتلاوتها. إن دماغ الإنسان لا يمكن أن يكون استثنائياً في جميع مظاهر الذكاء. وإن عبقرية لاعب الشطرنج لا تؤثر سوى بذكائه المنطقي الرياضي، ويمكن أن تكون ذاكرته المكانية ضعيفة أو ثقافته العامة محدودة جداً. ولكن كيف يفسر مثل هذا الأداء؟ إنه يرتبط غالباً بخاصية تم اكتسابها أثناء تطور الوصلات الدماغية في الطفولة. ففي وقت الانفجار الاتصالي الذي يبدأ في الشهر السابع من الحمل والذي ينتهي في عمر ١٢ سنة، يتمكن برنامج إنشاء الألياف الدماغية من التسارع لدى بعض الأفراد في منطقة معينة فيسهل بذلك ظهور موهبة أو ملكة خاصة. ويساعد التصوير حالياً على الحصول على ما يثبت أن الموهبة أو الاستعداد لامتلاك "أذن موسيقية جيدة جداً" يرتبط باختلافات دقيقة مقرها الدماغ.

تمكن فريق روبير زاتور Robert Zatorre من معهد طب الجهاز العصبي في مدينة مونتريال الكندية من تسجيل هذه الملاحظات. وقد درس الباحثون استعداد بعض الأشخاص لتعلم لحن موسيقي بسرعة أو لإتقان لغة أجنبية بعد أسابيع عدة من التعلم فقط. فكثافة الوصلات أعلى بين الفص الجبهي والفص الجداري، وهما المنطقتان المسؤولتان عن الشبكة اللغوية. ومن جهة أخرى، إن المادة الرمادية في القشرة السمعية أكثر ثخانة لدى أولئك الأشخاص، وهي خصوصية اكتسبوها عند تطور الدماغ قبل الشهر الخامس من الحمل. وبالمثل، إن كثافة الوصلات في المنطقة الجبهية اليسرى مقترنة باستعداد أفضل لنطق كلمات لغة أجنبية، ولأداء أفضل في إنجاز اختبارات قواعد اللغة. وإن الموهبة التي تتجلى في نوعية ممتازة للأذن يعبر عنها من خلال بنى الدماغ أيضاً. وبالطبع، يُسهِّل هذا الاستعداد التعلم، ويقود الإنسان الذي يملك هذه القدرة إلى استخدام دماغه من أجل ممارسة منتظمة، إما للغات وإما للموسيقى.

ينتج الأداء غالباً عن السرعة التي يتصرف بها الدماغ من أجل تهيئة سلوك استجابة لموقف إشكالي، مهما كانت طبيعته. ففي هذه الحالة، تتدخل المُعدِلات العصبية، وهي رسائل كيميائية، ونوع من المحفزات التي تُسهل نقل الاتصالات إلى شبكة الوصلات المعقدة التي تربط العصبونات، وإلى مسافة طويلة غالباً، عندما ينبغي على منطقتين بعيدتين تبادل معلومات. وهذه أكثر ميزات الدوبامين، مفتاح حوافزنا وسلوكياتنا. وتحفز هذه المعدلات العصبية التنشيط المتزامن لعدد كبير من العصبونات للشبكة نفسها، وتسهل الاتصالية الدماغية.

كيف يتطور الدماغ؟

لقد تطور دماغ الإنسان كثيراً منذ القردة العليا الأولى قبل ٧ ملايين سنة حتى ظهور الإنسان المعاصر منذ حوالي ٢٠٠ ألف سنة[٥]. والمقصود بالطبع مقاسه الذي يتميز بحجمه الذي انتقل من حوالي ٦٠٠ إلى ١٤٠٠ سم٣. وقد ساهم جينان رئيسان هما ASPM وMCPH1 أو ميكروسيفالين microcéphaline ومسؤولان عن قدرة الدماغ على إنتاج مزيد من العصبونات مساهمة كبيرة في تطوير الأداء المعرفي والذكاء البشري، وتحسينهما، وتعزيزهما. وقد نقل إلينا علماء الوراثة الذين حللوا تحليلاً دقيقاً تغيرات جيناتنا أو طفراتنا مشاهدات مثيرة للاهتمام. وينبغي علينا أن نتخيل أن هذه التغيرات نادرة: يحدث تغير إيجابي في أحسن الأحوال كل ٣٥٠ ألف سنة تقريباً. وقد أثبت علم الوراثة تغيرين يمكن ملاحظتهما في الجينين ASPM وMCPH1، إذ حصل التغير بالنسبة للأول قبل ٣٧ ألف سنة، وبالنسبة إلى الثاني قبل ٦ آلاف سنة. وقد ساهم هذا التغير في تطور المعرفة، وفي

(٥) (يشير المؤلف هنا إلى نظريات التطور، ومنها نظرية داروين الذي قال إن الإنسان بالأصل عبارة عن قرد، وهي نظرية لا نتفق معها ولا نؤيدها. ويؤمن أتباع الديانات السماويّة بأنّ الإنسان قد خُلق من طينٍ بكافة تفاصيله التي يظهر عليها الآن، وتمّ نفخ الرّوح فيه، لأن الإنسان من المنظور الديني هو عبارة عن روحٍ وجسد، وقد أكّد سفر التكوين في الدين اليهودي هذا الأمر، وتذكُر الكتب المقدّسة المسيحيّة واليهوديّة بأن أوّل إنسانَين خُلقا هما آدم وحوّاء، حيث كانا يقيمان في الجنة، وعند عدم التزامهما بأوامر الله هبطا إلى الأرض، وهذا ما أكدّه الإسلام والقرآن في قصة خلق آدم وحوّاء. المترجم).

قدرات التواصل والترميز لدى البشر بشكل مؤكد. يمكن أن يوافق التغير الأول في الجين MCPH1 القدرات الأولى للكتابة ولظهور الترميز بأشكال مختلفة. ويمكن أن يوافق التغير الثاني الحاصل في الجين ASPM تطور قدرات التنشئة الاجتماعية البشرية وظهور الحضارات القديمة الأولى في حوض البحر الأبيض المتوسط. وتعبر هذه الملاحظات عن حقيقة أن الدماغ البشري يتطور، وأنه يزيد قدراته المعرفية والقدرة على التجريد والتكيف في المجتمع. ويمكن أن يتساءل العديد من مؤلفي الخيال العلمي حول التطور القادم لدماغنا ولقدراته فيتخيلون عندئذ إنساناً برأس أكبر حجماً، وعينين جاحظتين، وأصابع أطول من فرط استخدام الهواتف الذكية والحاسبات اللوحية اللمسية! إن كل ذلك قليل الاحتمال، فهل يمكن معرفة كيف ستكون هيئتنا وقدراتنا العقلية في المستقبل؟

إن ما يزيد الذكاء البشري هو قدرة الدماغ على تخزين أكبر عدد ممكن من المعلومات في الذاكرة، وعلى طلبها لمقارنتها واستخدامها مع سرعة في التنفيذ بأسرع وقت ممكن. وإن الدماغ متكيف جيداً مع ذلك. أولاً: بفضل العدد المرتفع من العصبونات الذي يبلغ ٩٠ ملياراً، وثانياً: بفضل حجمه أيضاً الذي يبلغ ١٤٠٠ سم٣، وثالثاً بفضل كثافة الوصلات: حوالي ٥٠٠٠ وصلة بين العصبون وجيرانه، ما يمثل ١٠٠ ألف كلم من الكابلات. وقد زادت كثيراً مساحة القشرة التي تتصف بثنيات أو بتلافيف عندما تطورت الرئيسات. وإذا تم تكبير دماغ فأر إلى حجم دماغ الإنسان فإن مساحته ستكون ٥٠٠ سم٢، أي أقل بأربع مرات من الحجم الحقيقي لدماغ الإنسان. فهل يمكن أن يزيد أداء دماغ الإنسان إذا امتلك دماغاً أكبر حجماً؟

هذا هو على وجه الدقة السؤال الذي طرحه في عام ٢٠١٤ المختص في العلوم العصبية ميشيل هوفمان Michel Hofman في استوكهولم. قارن هوفمان الحجم الذي تشغله العصبونات في الدماغ (المادة الرمادية) والكابلات (الوصلات التي تربط العصبونات أو المادة البيضاء) لدى مختلف الحيوانات، ولاحظ أن الحجم الأقصى لدى الإنسان هو ٥٠٪ للعصبونات و٣٥٪ للكابلات، ويتكون ما تبقى من ماتريس أو مادة أساسية (عبارة عن دعامة مخثرة) وأوعية دموية. وانطلاقاً من فرضية أفضل أداء للدماغ، وجد هوفمان أن الحجم الأقصى للقشرة يبلغ ٢٨٠٠ سم٣، وهو حد تصبح بعده الوصلات القصيرة أقل فاعلية. وبالمثل إن حاولنا زيادة عدد العصبونات وبالتالي الوصلات فإن أكبر عدد مقبول للكابلات يمكن استقباله (حوالي ٢٥٠ ألف كم) يطابق حجماً أكبر هو ٣٥٠٠ سم٣، أي رأساً يبلغ حجمه أكثر من ضعفي حجم رأس الإنسان الحالي!

ثمة مُتغيِّر آخر يميز غالباً الاختلافات الفردية لأداء الذكاء البشري، ينتج عن سرعة نقل الرسائل (السائل العصبي) بين العصبونات. إن معظم الوصلات الطويلة، أي تلك التي تربط مناطق الدماغ التي تبعد عن بعضها أكثر من ٢,٥ سم، تستخدم أليافاً بسرعة نقل مرتفعة (حوالي ١٠٠م في الثانية). يوافق هذا الترف أليافاً معزولة بمادة غنية بالشحم تسمى الميالين myéline (النخاعين). تنمو هذه المادة لدى الإنسان على وجه الخصوص بعد الولادة وحتى عمر ١٢ سنة تقريباً. يفسر ذلك أن الدماغ يكبر بسرعة كبيرة لأن حجمه سوف يتضاعف ثلاث مرات حتى هذا العمر. ويحتاج الأمر لتسهيل هذا النمو غير العادي للدماغ طاقة يقدمها السكر الذي يعد الوقود المفضل للدماغ. والحال هذه أنه خلال الطفولة، أي بين الولادة وعمر ٥ سنوات، يستهلك الدماغ نصف الغلوكوز الذي ينتجه الكبد. وهذا هو سبب بطء نمو العظام والعضلات حتى عمر ١٢ سنة. وبعد ذلك، عندما يصل حجم الدماغ إلى حده الأقصى فإنه يستهلك طاقة أقل، ويتسارع نمو كل أعضاء الجسم الأخرى: إنها مرحلة البلوغ. وهكذا، فإن الحاجة للطاقة في فرضية نمو حجم الدماغ تمثل أيضاً حداً أو نهاية.

الإنسان: كائن فضائي في نظر شمبانزي

لنتخيل ما ينبغي على شمبانزي أن يفكر به وهو يلاحظ رأسنا. إن جمجمتنا كبيرة جداً لأن حجم الدماغ البشري أكبر بثلاث مرات من حجم دماغه. وفضلاً عن ذلك، سوف يفاجأ من قدراتنا على التعلم لأن ذاكرتنا الكلامية وقدراتنا اللغوية تساعدنا على تعلم لغات عدة بإتقان تعلم أكثر من ٥٠٠٠٠ كلمة! وفي نهاية المطاف، أليس هذا هو السيناريو المتخيل للكائنات المذكرة بالإنسان، والقادمة من كوكب آخر، وبرأس مفرط في الحجم؟

إذا اعتقدنا أن الدماغ يمكن أن يستمر في التطور بسبب بنيته، فإن ميشيل هوفمان يرى أن حجمه الأقصى لا يمكن أن يتجاوز ٣٥٠٠ سم٣، أي أكبر من ضعفي حجم دماغ الإنسان الحالي. ففي هذه الحالة، قد يصل إلى قدراته القصوى بأكبر عدد ممكن من الوصلات، نظراً لحجمه، ومن دون المجازفة بتعريض تزوده بالأوكسجين والطاقة للخطر. موعدنا إذن بعد مليون سنة أو أكثر للتحقق من هذه الفرضية.

إذا كان الدماغ يتأثر لهذه الدرجة بالبيئة والتعلم وبتأثير الاتصالات الاجتماعية فذلك لأن كل شيء في بنيته خلق ليجعله لدناً، وقابلاً للتغير: يقال إنه وُهِب اللدونة. سوف نرى في الفصل القادم أن هذه الآليات تتحكم بآثار التعلم. ولكن كيف يتم العمل على مستوى الخلايا نفسها وكابلات الدماغ؟

الفصل الثاني

التعلم، واللدونة والتكيف: من تغريد الكناري إلى أسرار الذاكرة

"من يغير عقله يغير حياته"

ريك هانسون Rick Hanson [1]، *دماغ بوذا*، ٢٠١١.

(١) (يقترح هانسون ألا نتجنب التفكير في التجارب السلبية التي مررنا بها لأنه يستحيل أن تتجاهلها أدمغتنا، بل أن نقوم "بتدريب" أدمغتنا للتركيز على التجارب الإيجابية. ويحدث ذلك عن طريق تخصيص وقت محدد ومتكرر للتفكير في التجارب الإيجابية، بهدف استدعاء أدمغتنا لها بصورة منتظمة فيها بعد. ويقوم هذا الاقتراح على حقيقة علمية مفادها أن أنشطة التفكير المتكررة التي يقوم بها الدماغ تؤدي إلى تكوين بنية عصبية جديدة تجعل من هذه الأفكار أمراً مسلماً به لدى الدماغ، يستدعيها بصورة تلقائية. المشكلة هنا، يقول هانسون، إن أدمغتنا "بارعة للغاية" في تكوين هذه البنى العصبية حول التجارب السلبية، لسرعة تعلمها من مراكز الألم وحرصها على عدم تكرار هذا الأمر مرة أخرى. وعلى الجانب الآخر، يواجه الدماغ صعوبة نسبية في التعلم من التجارب الإيجابية وتحويلها إلى بنية عصبية يمكن استحضارها بسهولة. يكمن جزء آخر من المشكلة، وفق هانسون، في الوقت الطويل الذي يقضيه الدماغ في "وضع رد الفعل" الناتج عن مواقف تثير التوتر، كالضغوطات الحياتية التي نتعرض لها. ويكمن الحل في العودة مرة أخرى إلى "وضع الارتخاء" الطبيعي والذي تعيشه بقية الكائنات الحية بصورة طبيعية، إذ لا تلجأ إلى "وضع رد الفعل" إلا في حالة وجود خطر يهدد حياتها، بينما أصبح يعيشه البشر بصورة مستمرة حتى وإن لم يكن هناك طارئ معين يؤثر بصورة سلبية عليهم. انظر: "دراسة : لن تنسى تجاربك الفاشلة ولكن تعلم كيف تدربها"، الحياة برس، الرابط: https://www.alhayatp.net/?app=article.show.523. المترجم)

تعني اللدونة العصبية قدرة الدماغ على تكوين عصبونات جديدة تحت تأثير البيئة والتعلم. تصدر هذه العصبونات الناتجة عن آلية تسمى تخلق النسيج العصبي مجسات صغيرة تتصل ببعضها وتكون تدريجياً شبكة من آلاف عدة من الخلايا التي تنسج شبكة من الوصلات فتولد بذلك قدرة عصبية جديدة! ويؤدي استعمالها إلى تحسينها.

تخلق النسيج العصبي وتغريد العصافير

يتعلق ظهور العصبونات والزيادة الهائلة في عددها، في أثناء فترة الحمل، بآلية محددة مسبقاً، تتحكم بها جيناتنا، تبدأ بنهاية الشهر الأول من الحمل، وتصبح بطيئة حوالي الشهر السابع. وهذا ما يطلق عليه المختصون في البيولوجيا العصبية اسم التخلق الأولي للنسيج العصبي. كانت بعض الملاحظات قد برهنت حتى عام ١٩٧٠على وجود هذه الظاهرة في بعض مناطق الدماغ البالغ، ولكن عدد البيولوجيين الذين كانوا يتصورون أن العصبونات قادرة على التكاثر كان قليلاً.

ومع ذلك، كان عدد من المختصين في البيولوجيا العصبية قد لاحظ أثر الهرمونات، مثل التستوستيرون، في وظائف الدماغ. وكان فرناندو نوتبوم Fernando Nottebohm الأستاذ في جامعة روكفلر في نيويورك يهتم بازدواج الشكل الجنسي لدى الطيور، لا سيما طيور الكناري. فالذخيرة الصوتية لدى ذكور الكناري التي تتميز بالتغريد ضرورية لجذب الأنثى في الربيع، فصل تكاثر هذه الطيور. وقد لاحظ هذا الباحث في منتصف السبعينيات أن مجموعة من خلايا الدماغ لدى طيور الكناري هذه، التي تسمى المركز الصوتي، يتضاعف حجمها في هذه الفترة تحت تأثير الهرمون الذكري، أي التستوستيرون. وهذه الظاهرة غير موجودة لدى الأنثى التي تعتبر ذخيرتها الصوتية فقيرة جداً. ينتج عن ذلك أن التغصنات (الزوائد الشجرية)، أي المجسات الصغيرة التي تصل العصبونات ببعضها البعض، تنمو وتحسن عمل المركز الصوتي. وبرهن بعدئذ على أن عدد العصبونات يزداد، أي أن الخلايا في المركز الصوتي لدماغ هذه الطيور تتكاثر. وتُستبدل ٥٪ من العصبونات، ولا يرافق ذلك فقدان معادل للعصبونات المتعبة. هناك إذن تخلق للنسيج العصبي في المركز الصوتي لدى طيور الكناري يزيد الاتصالية مع المراكز الحركية، ويساعد على تنمية الذخيرة الصوتية لتغريدها.

في عام ١٩٩٨، لاحظ بيتر إريكسون Peter Eriksson، من جامعة غوتبورغGötborg، الظاهرة نفسها في الحصين، وهو انثناء في قشرة الفص الصدغي مسؤول عن الذاكرة لدى الثدييات

والإنسان. ويخالف هذا الاكتشاف الاعتقاد الذي ساد منذ ملاحظة عصبونات الدماغ منذ بداية القرن العشرين، والذي يقول إن العصبونات خلايا متخصصة جداً، وتتوقف عن الانقسام منذ الطفولة. وفي عام ٢٠١٣، نشر فريق جوناس فرايزن Jonas Frisen، من جامعة ستوكهولم، أعمالاً أصيلة حول قياس معدل تجدد عصبونات الحصين. وقد طور هذا الباحث فكرة معايرة الكربون ١٤ في الحمض النووي الريبوزي منقوص الأوكسجين في عصبونات المرضى المتوفين. يعكس هذا المعدل، بالمقارنة مع معدل الكربون ١٤ المعروف في الجو بين الأربعينيات والعقد الأول من الألفية الثالثة، عمر العصبونات في عينات من الدماغ. تفيد هذه التجارب التي أجريت بعناية أن ٣٥٪ من عصبونات الحصين خضعت لتجديد مستمر. وهذه النسبة ليست مرتفعة، لأنها تمثل ١٧ مليون خلية من أصل ١٦ مليار خلية في قشرة الدماغ. ومع ذلك، يتجدد يومياً في الحصين، وعلى وجه الخصوص في التلفيف المسنن، حوالي ١٠٠٠عصبون، أي بين ٢ و١٠٪ سنوياً من إجمالي عصبونات التلفيف الدماغي. تستمر حياة العصبون المتجدد حوالي ٧ سنوات وسطياً فيشارك في التجدد المنتظم لدارات عصبونات ذاكرتنا. ويستمر تخلق النسيج العصبي لدى الشخص المتقدم في العمر بصورة مثيرة للاهتمام حتى لو انخفضت نسبته إلى أربع مرات عن نسبة اليافع؛ ففي عمر ٧٠ سنة يجدد الحصين أيضاً ٢٪ من عصبوناته كل سنة. ويُعد الفص الشمي لدى الفأر الأكثر تأثراً، لأن اكتشاف منطقة الطعام والبحث عنه يمران لدى الفأر بالذاكرة الشمية على وجه الخصوص. وأما لدى الكناري فإن التستوستيرون يحرض على إفراز مثير لتخلق النسيج العصبي، هو عامل النمو الذي يعرف أيضاً بـ "عامل التغذية العصبية المستمد من الدماغ[٢] BDNF". والأمر الملفت للنظر هو أن الملاحظات العديدة التي دونت لاحقاً لدى القوارض تظهر تأثير الهرمونات على تخلق النسيج العصبي لمختلف مناطق الدماغ المسؤولة عن المعرفة الاجتماعية، وتكوين الأزواج، والتكاثر.

---

(٢) BDNF عامل التغذية العصبية المستمد من الدماغ، ويعرف أيضاً بـ (Facteur neurotrophique dérivé du cerveau) هو بروتين مشفر في الإنسان بوساطة الجين BDNF (جين عامل التغذية العصبية المستمد من الدماغ). ويعد BDNFعضواً في عائلة النوروتروفينات من عوامل النمو التي ترتبط بعامل نمو الأعصاب القويم. وتوجد عوامل التغذية العصبية في الدماغ ومحيطه. المترجم).

إن تخلق النسيج العصبي هو في الواقع إحدى الأوراق الرابحة التي يملكها الدماغ ليكون لدناً، أي ليغير بنيته وعمله إما تحت تأثير جينات التعلم وإما تحت تأثير الاتصالات الاجتماعية. وسوف نصف أمثلة عدة على هذه التأثيرات في الفصول التالية. ويمكن أن يستخدم الدماغ وسائل أخرى ليزين تكيفه مع البيئة، مثل الهرمونات. وإن لدونة العصبونات يمكن أن تتضح أيضاً بآلية التجدد. وإذا كانت هناك آفة صغيرة تقطع الوصلات القائمة بين العصبونات، فإن العصبونات المصابة بالضرر يمكن أن تجدد عندئذ الوصلات مع عصبونات مجاورة. يحصل ذلك غالباً في قشرة الدماغ تحت تأثير حالات نزيف صغيرة جداً، أي أقل من ١ ملم. وتنشّط عوامل غذائية (جزئيات ترمم الخلايا) نمواً ثانياً للمحوار أو الزوائد الشجرية تحت تأثير الخلايا البينية الدبقية. ففي سياق تخلق النسيج العصبي المتعلق بالظروف البيئية يبدو الدماغ لدناً جداً تحت تأثير المثيرات.

التعلم واللدونة

إن اكتساب خبرات جديدة وتعلم حركة جديدة هما معدِلان لوظيفة الدماغ معروفان جيداً اليوم. وإن تغيرات بنية الدماغ وتنظيمه مبرهن عليها من الآن فصاعداً على المستوى التشريحي والخلوي والجزيئي خلال أي تعلم، لاسيما لدى القوارض. وهكذا، هناك فترات حاسمة لكل نمط من التعلم لدى الطفل، ناجمة عن استعداد الدماغ الخاص للبقاء لدناً تحت تأثير بيئة معينة، ولكن وفق منهج دقيق. وهنا يكمن سر نجاح التعلم.

لقد تم تسجيل العديد من الملاحظات لدى الإنسان من خلال التصوير بالرنين المغناطيسي، وقياس الأشكال أو أيضاً تصوير الانتِشار المُوَتَّر (تصوير الانتشار). فلاعبو الجودو من الطراز الرفيع لديهم على سبيل المثل قشرة جبهية أكثر ثخانة في منطقة تخطيط الحركة والذاكرة العاملة مقارنة بالذين لا يمارسون الجودو. إن تصوير متسلقي الجبال يوضح مخيخاً أكثر تطوراً، الأمر الذي يمنحهم قدرة أفضل على التنسيق الحركي المرتبط بالتحكم البصري وبحركات اليد اليمنى. وثمة ملاحظات أخرى تتعلق بفحص القشرة الحركية لدى الموسيقيين المحترفين مقارنة بغير الموسيقيين، فمساحة القشرة الحركية التي تتحكم باليد أكبر لديهم. وقد اهتم علماء آخرون أيضاً بمتابعة تغيرات الدماغ لدى الأشخاص الذين يمارسون رياضة بانتظام، وذلك كلما تقدموا في تعلمهم.

وتتعلق أهم الأعمال التوضيحية في هذا المجال بملاحظة حجم القشرة لدى لاعبي الخفة. فبعد ثلاثة شهور من التدريب، لوحظت زيادة حجم المادة الرمادية في الثلم داخل الفص الجداري، وفي المنطقة الصدغية للقشرة البصرية. والحال هذه أن المنطقة الأولى مسؤولة عن تحويل الصور الشبكية إلى إحساس متكامل بالحركة، وأن الثانية مسؤولة عن التحليل الدقيق للمعلومات البصرية. والأمر الأكثر لفتاً للنظر هو ملاحظة تباطؤ زيادة كثافة القشرة عند تكرار القياسات نفسها لدى الأشخاص ذاتهم بعد الانقطاع عن ممارسة ألعاب الخفة لمدة ثلاثة شهور، ما يبرهن على أن اللدونة الدماغية التي تمت ملاحظتها قابلة للانعكاس، ومرتبطة بممارسة التدريب.

إن ملاحظات التصوير أكثر دقة أيضاً. يلاحظ في الواقع لدى الموسيقيين تغيرات ليس في بنية المادة الرمادية في القشرة الحركية فحسب بل أيضاً في الوصلات التي تربط بين المناطق الحركية والحسية. وكذلك تلاحظ زيادة في كثافة الوصلات بين هذه المناطق والقشرة الجبهية المسؤولة عن إحساس الشخص بممارسته، أي عن تقييم أدائه. هل هناك أمر أكثر وضوحاً من تجربة تعلم الطلاب الذين يستعدون لأحد الاختبارات؟ ينبغي على الدارسين في بعض التخصصات، مثل الدراسات الطبية، أن يكدوا الذاكرة كداً كبيراً من ثلاثة إلى أربعة شهور، الأمر الذي يتطلب ثلاث مراحل أساسية في عمل الذاكرة: الترميز، أي تخزين المعلومات التي تم حفظها في الحصين، ثم ترسيخ المعلومات الأساسية الذي يستخدم عمل الذاكرة العاملة التي تستخدم القشرة الجبهية، ثم استعادة المعلومات التي تم حفظها، أي القدرة على تقديم المعلومات الكتابية أو الشفهية التي تم تعلمها على شكل إجابات عن أسئلة. وقد درس فريق بوغدن دراغانسكي Bogden Draganski من جامعة ريجنسبورغ في ألمانيا تغيرات قشرة الدماغ لدى طلاب في كلية الطب يخضعون لاختبارات الدراسة على عجل لمدة تستمر ثلاثة شهور. فملاحظة تغيرات حجم المادة الرمادية شهراً ثم شهرين ثم ثلاثة شهور بعد بدء الدراسة تشير إلى تغيرات مهمة مقارنة بمجموعة شهيدة[٣] لم تخضع لمثل هذا التعلم المكثف. وقد زاد حجم المادة الرمادية على وجه الخصوص في الحصين الأيمن وفي القشرة الجدارية الخلفية لجانبي الدماغ، وهو ما يعبر عن تدريب دماغي للذاكرة، وعن تركيز أيضاً، إذ يستخدم الانتباه في المكان والقصد الحركي (التركيز البصري على نص مقروء) أو أيضا قدرته الشخصية على إعادة قراءة ملاحظاته وحفظها. تكمل هذه الملاحظات ملاحظات التصوير الأولى التي

(٣) (المجموعة الشهيدة هي التي لم تخضع للتجربة وتقارن بالمجموعة التي أجريت عليها التجربة. المترجم).

تنطوي على تغيرات في الحصين أثناء جلسات التعلم التي تستخدم إما الذاكرة التقريرية وإما الذاكرة المكانية. وإذا كان التصوير يوضح تغيرات مرتبطة بالتعلم، فإن المنطقة الأكثر تغيراً في دماغنا تحت تأثير البيئة هي بلا جدال الحصين.

إن تخلق النسيج العصبي في هذه المنطقة من الدماغ هو الأكثر انتظاماً والأكثر ضرورة لتكيف الذاكرة. يوضح التصوير بالرنين المغناطيسي تغيرات بنية المادة الرمادية وثخانتها أثناء مهمات تعلم متكررة. يلاحظ ذلك لدى الطفل لا سيما قبل سن ٣ سنوات، حيث تجري عملية نمو هائلة لمحوار العصبونات، تقريباً كما في تكاثر الأغصان الصغيرة في شجرة فتية في فصل الربيع. يسهل ذلك إمكانية نشوء الوصلات. وبعد ذلك، يتوقف تكون شبكة صغيرة من الوصلات أثناء تنشيط الذاكرة العاملة الضروري لتنفيذ مهمة دقيقة محددة معرّفة بالتعلم، مثل تكرار كلمة معينة. إن التكرار المرتبط بالتعلم يعزز المشبكات العصبية لعصبونات هذه الشبكة، ويحذف، أي يستبعد، الوصلات الإضافية الضعيفة التي لم يتم اختيارها في عملية تكوين الشبكة.

الدماغ في الواقع لدن جداً لدرجة أن الآليات المرتبطة بالتعلم وبتطور القدرات الدماغية غير قابلة للانفصال. وإذا ظهر وجود فترات تطور دماغي مواتية لبعض قابليات التعلم، فإن تنبيهها بالتمرين يمكن أن يعدل برنامجها. وعندما ندرب الأطفال منذ عمر ثلاثة شهور على التعرف على أجسام ومسكها بواسطة تمارين مناسبة، فإنهم يكتسبون مهارة حركية قبل الأوان تفوق ما يكتسبونه من خلال التطور الطبيعي لوصلات القشرة الحركية، أي بدءاً من عمر خمسة شهور.

التعلم

يكيف الدماغ برنامجه مع ما نتعلمه. وإن التعلم لا يستجيب لبرنامج فطري لتطور الوصلات الدماغية، ولكن التنشيط المتتابع لشبكات الوصلات الذي تتناوب فيه المحاولات/ الأخطاء هو الذي يشكل دارات العصبونات طوال الحياة. والواقع أن الدماغ يبني، بواسطة وصلاته في كل تجربة تفاعل مع البيئة، جديدة ومجهولة، شبكة جديدة قابلة للتنشيط إن تكررت التجربة. فكلما تقدم التعلم تطورت شبكات الوصلات مشكلة بنية أكثر فأكثر تعقيداً. ولا يطور التعلم باستمرار شبكات جديدة ولكنه "ينتقي" شبكة مناسبة تعمل بطريقة مثلى من أجل مهمة تعلم معينة، باستبعاد الوصلات غير المفيدة وغير الضرورية. إنها نظرية بنائية التصورات الذهنية التي اقترحها عالما البيولوجيا العصبية جان- بيير شانجو J.- P. Changeux وستانيسلاس ديهان S. Dehaene في عام ١٩٨٩.

ومع ذلك، يبدو التعلم مقيداً بتكوين شبكات سلكية تتشكل وفقاً لما سبق تعلمه. لاحظ آرون باتيستا Aaron Batista ، من جامعة بتسبورغ Pittsburg، لدى القرد الآسيوي، انطلاقاً من هذه الفرضية، أن تعلم مهمة معرفية جديدة أكثر سهولة عندما تكون مشابهة أو قريبة من تعلم مكتسب سابقاً. وقد نجح العلماء مؤخراً في تفسير آلية هذه الظاهرة. ودربوا قردة على معاينة حركة عقرب ساعة تمت إعادة إنشائها على شاشة. وسجلوا في هذه التجربة، بفضل أقطاب كهربائية، نشاط القشرة الحركية، إذ إن القرد يقلد حركة العقرب بالاستعانة بإصبعه. فإذا علمناه هذا التعلم، وكان عليه بحركة واحدة تقليد حركات العقرب في حركة غير اعتيادية (يشير العقرب إلى الثانية، ثم التاسعة، ثم الخامسة بدلاً من الانتقال في الاتجاه الطبيعي لعقارب الساعة)، فإنه أكثر بطئاً في تعلم انتقال العقرب بإصبعه وتقليده. يبرهن ذلك على أن شبكة الوصلات المستخدمة أثناء التعلم تُعزز تكون بعض الوصلات وفقاً لمخطط قابل للتقليد بسهولة وفقاً لما سبق تعلمه (هنا مراقبة حركة جسم ما في الفضاء).

التكيُّف واللدونة

ما القدرة الذهنية التي يحتاج إليها الحيوان القارض؟ والإنسان؟ تحتاج الفئران والجرذان التي تستخدم في التجارب على نطاق واسع على وجه الخصوص لدماغها الشمي المتصل بقوة بالحصين، مقر الذاكرة. إنها أولاً مسألة حياة. فالقوارض تسترشد في بيئتها بحاسة الشم على وجه الخصوص، لأن حاسة النظر لديها أقل أداء. ولهذا السبب طور دماغها لدونة أولاً في الفص الشمي ثم في الحصين. فهي تسجل تجاربها في التعرف على مكان ما وتحفظها بسبب وجود الغذاء، وبفضل رائحته أو أيضاً بسبب خطر تم تجنبه، وملاحظته، وحفظه.

لقد تم أحد أكثر الاكتشافات المدهشة في فهم آليات تخلق النسيج العصبي خلال ملاحظات إليزابث غولد Elisabth Gould، من جامعة برنستون. فقد أوضحت في عام ٢٠٠٦ أنه إذا تم تنشيط تخلق النسيج العصبي بالأستروجين في تكوين أزواج لدى فأرة الحقل، فإن الاتصال والتفاعل بين الشريكين ضروريان لتكوين عصبونات جديدة في الحصين. يبرهن ذلك لأول مرة على أن السلوك الاجتماعي قادر على التأثير في تكيف الدماغ مع بيئته. وكشفت دراسات لاحقاً أن العزلة لدى

القوارض والحرمان من الاتصال الاجتماعي يبطئان بشدة تخلق النسيج العصبي. فهل يحدث الأمر نفسه لدى الإنسان؟ ليس بدقة. فالجنس البشري يعتمد على وجه الخصوص على حاسة النظر، وبشكل أقل أهمية على حاسة الشم. كيف تتمكن قدرة الدماغ هذه من تجديد عصبوناتها في أماكن أساسية؟

تتكون العصبونات الجديدة، في الدماغ وفي الحصين على وجه الخصوص كما سنرى، بتحول الخلايا الجذعية الطليعية[٤] إلى عصبونات. يستغرق التحول حوالي أربعة أسابيع لدى الإنسان: منذ ولادة هذه الخلايا ونموها ونضجها وقدرتها على الاتصال، أي على تبادل معلومات مع العصبونات المجاورة. ومع ذلك، فإنَّ هذه النتيجة غير ممكنة إلا في بيئة مواتية. والواقع أنه إذا كان التمرين البدني يحفز تكاثر الخلايا الجذعية فإن تكرار التجارب المرتبطة باكتشافنا للبيئة، وبفضولنا لمواجهة مواقف جديدة -إن لم تؤد هذه المواقف إلى الإجهاد- يعزز بقاء هذه العصبونات التي تشكلت حديثاً، والتي تصنع عندئذ زوائدها الشجيرية للاتصال بالعصبونات

---

(٤) (ذكرت صحيفة البيان الإماراتية بتاريخ ١ فبراير ٢٠١٢ أن علماء أمريكيين نجحوا " في تحويل خلايا من جلد الفأر مباشرة إلى خلايا عصبية طليعية من دون المرور بمرحلة الخلايا الجذعية، ووجد باحثون من كلية الطب بجامعة ستانفورد في كاليفورنيا طريقة لتحويل خلايا جلدية إلى خلايا يمكن أن تكون أحد الأجزاء الثلاثة الرئيسة للجهاز العصبي، وهذا التطور هو استكمال لاستنتاجات سابقة توصل إليها الباحثون عينهم بأن خلايا جلد الفأر أو الإنسان يمكن أن تتحوّل مباشرة إلى خلايا عصبية عملية. ويدحض نجاح هذه الطريقة التي تقوم على تحويل الخلية مباشرة من نوع إلى آخر من دون المرور بالخلايا الجذعية : فكرة أن القدرات المتعددة للخلايا الجذعية لتكون أي نوع من الخلايا في الجسم ضرورية للخلية لكي تتحول من خلية إلى أخرى. وتوصّل العلماء إلى إمكانية تحويل الخلايا الجلدية إلى خلايا عصبية طليعية (precursor cell) وليس إلى عصبونات كما في الدراسة السابقة، فالخلايا الطليعية يمكن أن تتحوّل إلى عصبونات أو إلى أحد النوعين الآخرين من الخلايا في الجهاز العصبي أي الخلايا النجمية (Astrocytes) أو الخلايا الدبقية قليلة التغصنات (Oligodendrocyte) ، والجيّد أيضاً في التطور الجديد هو أن الخلايا الطليعية العصبية يمكن أن تنتج العديد من الخلايا الأخرى في المختبر وهي ميزة أساسية في فعاليتها على المدى البعيد في زراعة الخلايا، أما طريقة تحويل الجلد إلى خلايا عصبية فاستغرقت مع الباحثين ثلاثة أسابيع بعد إضافة عوامل تكييف". المترجم).

الأخرى الأكثر قدماً فتساعدها على أن تكون وظيفية، وعلى أن يتبناها هذا "المجتمع المصغر" من عصبونات الدارة نفسها. ويسهل اكتساب العصبونات الجديدة هذه ترميز ذكريات جديدة وحفظها كما يسهل اكتساب معارف جديدة. إن هذه الظاهرة الدقيقة ترتبط بالتأثير الجوهري لهرمونين يقومان بتأثير متعارض: الكورتيزول الذي يتم إفرازه أثناء الإجهاد، والأوسيتوسين، وهو هرمون الاتصال الاجتماعي والتعاطف مع الغير الذي يقلل من إطلاق الكورتيزول.

تجد هذه النتائج التي تم استكشافها جيداً في دراسة سلوك القوارض امتدادها في دراسة السلوك الإنساني. إن تكرار سلوك استكشاف المكان لدى الفأر يجعله يحفظ أمكنة أخرى يسجلها باعتبارها ذكرى مقترنة بمكافأة: إنه وجد فيها غذاء. وتخفض هذه المكافأة معدل الكورتيزول، وتحفز تخلق النسيج العصبي في الحصين. فبعد أسابيع عدة تساعده شبكة عصبونات الحصين على اكتشاف أماكن جديدة، وعلى أن يجد فيها من جديد مصدراً للمكافأة وللسعادة في آن واحد، وبشكل غير مباشر، مصدراً للبقاء.

الحصين: الذاكرة المتحركة

يمكن التمييز بين فئتين رئيستين من الذاكرة: الذاكرة التقريرية المرتبطة ارتباطاً قوياً بعمل الحصين- وهذا هو نمط الذاكرة الذي يستدعي "ذكرياتنا" الموصوفة شفهياً-، والذاكرة العرضية، وهي ذاكرة الوقائع والأحداث المعيشة. تتعلق الثانية بالذاكرة غير التقريرية التي تضم ذاكرة الحركات والمهارات الحركية (مثل شد رباط الحذاء) والذاكرة الانفعالية (نتذكر أين ومتى شعرنا بخوف شديد). إن هذه الأنماط المختلفة من الذاكرة تستخدم مناطق مختلفة في الدماغ.

يُذكِّر الحصين، وهو انثناء صغير في قشرة الفص الصدغي، بشكل الحيوان البحري، ويقوم بدور جوهري في الذاكرة العرضية والذاكرة المكانية. ففيه يحدث تجدد العصبونات منذ الولادة حتى سن متقدم. وعمل الحصين ضروري أيضاً لمراقبة سلوكنا الانفعالي. وإذا عرفنا الآن الدور الجوهري للحصين في عمل الذاكرة، فإن تاريخ الطب يوضح أن هذا الاكتشاف كان مصادفة. وهو مرتبط بمرض هنري ماليزون Henry Malaison في عام ١٩٥٣ في مونتريال. كان

مرضه ينطوي على نوبات صرع متكررة منذ سن ١٠ سنوات. ففي ذلك العام خضع لعملية جراحية في الدماغ، تم فيها استئصال شريط بطول ٨ سم من قشرة السطح الداخلي للفص الصدغي. وقد اختفت النوبات تقريباً بعد العملية. ومع ذلك تغير سلوكه. وأصبح فاقد الذاكرة جزئياً، إذ احتفظ ببعض ذكريات طفولته ولكنه لم يكن قادراً على تذكر وقائع حديثة. وكان ينسى الأحداث بالسرعة التي تحدث بها. كان قادراً على تعلم مهمات جديدة، ولكنه كان يصعب عليه معرفة مسار معين مشياً، وكان ينبغي عليه من أجل ذلك أن يكرر التعلم لوقت أطول من الوقت الذي كان يحتاجه قبل العملية. يعني ذلك وجود أنماط عدة من الذاكرة، وأن الحصين لا يعمل مثل قرص صلب يحتفظ بالوقائع التي حفظها مثل ملفات الحاسب.

كان ينبغي انتظار عام ١٩٩٨ والملاحظات الأولى التي تم تسجيلها من خلال التصوير بالرنين المغناطيسي لتقديم البرهان على لدونة الدماغ لدى الإنسان. ففي عام٢٠٠٠، برهن فريق إليانور ماغيت Eleanor Maguite، من معهد البيولوجيا العصبية في لندن، على تغيرات في حجم الحصين لدى سائقي التكسي اللندنيين الذين مارسوا هذه المهنة لمدة ١٤ عاماً وسطياً. والواقع أنهم لم يكونوا في تلك الفترة يستخدمون النظام العالمي لتحديد المواقع GPS، وأن حفظ الشوارع ضروري أثناء اختبار المرور الذي يمنحهم رخصة السياقة. وقد أظهر تصوير دماغ السائقين بالرنين المغناطيسي زيادة مهمة في حجم المنطقة الخلفية من الحصين، ونقصاً طفيفاً في حجم المنطقة الأمامية مقارنة بأشخاص شهود لم يمارسوا سياقة السيارة. تثبت هذه الملاحظات لدى الإنسان ملاحظات مشابهة تمت البرهنة عليها لدى القوارض بعد فحص مباشر لتخلق النسيج العصبي الدماغي. والأمر المثير للفضول أن زيادة حجم المنطقة الخلفية يدل على إنشاء خريطة حقيقية لشوارع لندن في حصين أولئك السائقين، وفق آلية معقدة للحفظ المكاني. ويفسر نقصان حجم الجزء الأمامي بدوره في تعلم معلومات جديدة. وبالمقابل، يوحي الاستخدام المتكرر لمعلومات محفوظة في المنطقة الخلفية بآلية تذكر عناصر محفوظة تستوجب تنشيط هذه المنطقة.

يبدو أكثر فأكثر وضوحاً، منذ ملاحظات التصوير بالرنين المغناطيسي الحديثة، أن زيادة حجم الحصين ترتبط على وجه الخصوص بزيادة كثافة الوصلات أكثر من ارتباطها بالزيادة

الواضحة في عدد العصبونات. وإذا بدا أن هذا المثال يشير إلى ارتباط قدرات الذاكرة بتنشيط منطقة واحدة في الدماغ، فإن الواقع أكثر تعقيداً لأن الذاكرة منظمة في مستويات مختلفة تستدعي مناطق مختلفة من الدماغ تتواصل طبعاً بفاعلية فيما بينها. وهذا صحيح على وجه الخصوص لتفسير عمل الذاكرة العرضية، أي الذاكرة التي تتعلق بأحداث محددة في حياتنا نتذكرها بأدق التفاصيل خلال عقود عدة أحياناً. لنأخذ على سبيل المثال ذكرى حدث عائلي مثل زواج أخ أو أخت. إننا نستخدم ذاكرتنا التقريرية لسرد هذا الحدث. فالدماغ يجمع، مثل قطع الأحجية المتناثرة، تفاصيل عن المكان، ووجوه الأقارب، ولون ثوب أو سيارة، وأوقات معينة من هذا الحفل محددة زمانياً، ولكن أيضاً روائح وأحاسيس جمعت أثناء طعام العائلة. فميزة الذاكرة هي جمع كل قطع الأحجية هذه، وكل تفاصيل الحدث الصغيرة التي تم حفظها، وترميزها، وتثبيتها بطريقة مختلفة، وفي مناطق مختلفة من القشرة الدماغية.

فرط الذاكرة لدى المصابين بالتزامن الحسي

إن الأشخاص الذين يملكون هذ القدرة على التزامن الحسي ليسوا مرضى، وإنما أشخاص يقرنون تلقائياً إدراكاً حواسياً غير مألوف عندما يحسبون أو عندما يتذكرون إحدى الذكريات. مثال ذلك حالة النابغين في ذاكرة الحساب. إنهم يقرنون بشكل عفوي رقماً بلون أو بشكل هندسي. وهذا يمنحهم قدرة خارجة عن المألوف في مهارة تذكر وقائع، وتواريخ أو حسابات. وما يزال تفسير هذه الظاهرة في التغير الخاص للوصلات الدماغية لغزاً. ومع ذلك، يحاول باحثون منذ بضعة سنوات، من خلال التصوير بالرنين المغناطيسي، ملاحظة كيف تعمل ذاكرة متزامني الحس.

يلاحظ لدى بعضهم، الذين يقرنون رقماً أو عدداً بلون، وصلات غير مألوفة بين القشرة القذالية المسؤولة عن الرؤية والقشرة الجدارية التي تتخيل لوناً وتقرنه بترميز (أعداد، أرقام هاتف) سبق أن تم حفظه.

لقد حلل فريق آندرو واتروس Andrew Watrous في ديفيز Davis في كاليفورنيا تسجيلات كهربائية للدماغ برسم موجات الدماغ لدراسة ما يجري عندما نتذكر أماكن وأحداث زمانية، مثل "أتذكر كم شعرنا بالمرح وقت التحلية". وقد أوضح الباحثون في هذا الفريق أن نظاماً فريداً من الوصلات يربط عصبونات من الشبكة نفسها، إذ تتمكن الشبكة التي تنشط من استعادة عناصر عدة من الحدث دفعة واحدة. يستخدم هذا النظام وصلات بعيدة

المدى بين الفص قبل الجبهي والفص الجداري والحصين. برهن آندرو على أن الحصين في هذه الشبكة يقوم مقام عقدة تلتقي فيها مختلف المعلومات المتناثرة التي تمت إعادة جمعها لإعادة بناء جزء من الحدث الذي تم حفظه. تقع عقدة الوصلات هذه في الحصين. فوفقاً لتردد التنشيط الكهربائي لشبكات العصبونات، تنشط بعض الوصلات بعيدة المدى وليس غيرها. فهذه الأخيرة تنشط بموجات كهربائية أعلى تردداً. يشبه الأمر قليلاً أحجية نجمع فيها القطع التي لها اللون نفسه تقريباً لإعادة تركيب مشهد سماوي حيث يستخدم الدماغ تردداً ضعيفاً: ١-٤ هرتزات لجمع المعلومات المكانية، وتردداً أعلى لإعادة تركيب عناصر الحدث الزمانية.

وفضلاً عن ذلك، تستعمل المناطق المتصلة في جمع هذه المعلومات الزمانية والمكانية مناطق مختلفة من الدماغ. ولكن ما البنية الدماغية التي تنشط عقدة شبكة الحصين؟ يرى بعض البيولوجيين أن الأمر يأتي من المهاد، ويرى البعض الآخر أنه يأتي من القشرة قبل الجبهية، ولكننا في نهاية المطاف ما نزال نجهل هذه الآلية التي تمثل مفتاح قدرة الدماغ على جمع مختلف تفاصيل مشهد حياتي تم حفظه. هل ذاكرتنا منظمة، وكيف تعمل لجمع التفاصيل؟

لقد حلل هوارد آيخنبوم Howard Eichenbaum وفريقه من جامعة بوسطن النشاط الكهربائي المرتبط بعمل عصبونات الحصين لدى الفأر وعرضوا تفسيراً للأمر. إذا وضعنا فئراناً في بيئة قابلة للتغيير، فإنه يمكننا دراسة كيف يصل دماغها إلى تخزين تفاصيل بيئة معينة مثل مكان توضع فيه أجسام مختلفة الروائح. نقل الباحثون الفأر إلى بيئة مع أقفاص متعددة وغيروا مكان الأجسام فلاحظوا أن الحصين لا يسجل كل المعلومات في آن واحد، وأنه يستخدم شبكات وصلات لا تنشط وفقاً للتردد الموجي نفسه.

وهكذا، تحفظ الفئران أولاً المكان، ثم تعلم الموقع الدقيق للجسم الذي تصادفه، ثم تحفظ ما يحدد هويته بفضل رائحته. ولهذا يختلف تردد تنشيط شبكات العصبونات: ضعيف، من ٥ إلى ١٠ هرتزات بالنسبة إلى المكان، ثم تردد أعلى لتعليم الاجسام وطبيعتها (أكثر من ٤٠ هرتزاً). وينشئ الحصين في نهاية المطاف مخططاً للتعلم: المكان، ثم الجسم، ثم الرائحة التي يستطيع أن يستخدمها كأساس للتعلم، مسجل في شبكة وصلات. وإذا غير الفأر البيئة، فإن ذاكرته تستخدم مخطط التنشيط العصبي نفسه الذي سوف يتغير أحد عناصره.

تقوية الذاكرة لتنشيط الدماغ كهرومغناطيسياً

إذا تمت البرهنة على إنشاء شبكات وصلات بين مختلف مناطق الدماغ، فإن دور هذه الوصلات عن بعد في أداء الدماغ يبقى بحاجة للتوضيح. درس فريق البروفسور جويل فوس Joel Voss من جامعة شيكاغو تأثير التنشيط الكهرومغناطيسي للدماغ في كثافة الوصلات بين الفص الجداري والحصين لدى ١٦ شخصاً بالغاً وسليماً. زاد التنشيط اليومي لمدة خمسة أيام متواصلة الاتصالية بين هاتين المنطقتين من الدماغ، كما سبقت ملاحظة ذلك بفضل التصوير الوظيفي.

وفضلاً عن ذلك، أخضع الباحثون هؤلاء الأشخاص لاختبارات ذاكرة تربط ذكرى كلمة بوجه، مثل "وجه أندريه" وكلمة "كرسي" أو أيضاً "وجه بيير" وكلمة "قبعة". أشار أداء الاختبارات لدى أفراد المجموعة التجريبية الذين استفادوا من خمس جلسات تنشيط أنهم ارتكبوا أخطاء تقل ٣٠٪ عن أخطاء أفراد المجموعة الضابطة الذين لم يستفيدوا من المجال المغناطيسي. وفضلاً عن ذلك، استمر تحسن الأداء أكثر من ٢٤ ساعة بعد الجلسة الأخيرة من تنشيط الدماغ.

تستخدم التغيرات الاتصالية بين مختلف مناطق الدماغ المسؤولة عن الذاكرة على ما يبدو وصلات بعيدة المدى. إن ملاحظة هذه الآليات في دماغ الإنسان ماتزال صعبة، ولكن يبدو أن البحوث في هذا المجال تتقدم بسرعة كبيرة. وهكذا بدأ إيمانويل هافن Emmanuel Haven، من المركز الاستشفائي الجامعي CHU في مدينة بيزانسون Besasçon الفرنسية، تجربة تنشيط كهرومغناطيسي لدى المرضى المصابين بألزهايمر. واقعياً، ترسل بكرة توضع على رأس المريض تنشيطاً كهربائياً بشكل متكرر لسطح الدماغ. فبعد علاج لمدة أسبوعين بمعدل عشر جلسات لمدة ٣٠ دقيقة، يخضع المريض لتمارين ذاكرة للتعرف على وجوه أو لتعيين موضعه مكانياً. وتشير اختبارات التقييم الإدراكي بعد مرور شهر إلى إحراز تقدم من بضعة نقاط.

أسرار الذاكرة الانتقائية

إن الحفظ الذي نفضله لذكرى في ذاكرتنا مقارنة بذكرى أخرى معرض للانتقادات غالباً: ذاكرتنا انتقائية حقاً وحقيقة. ولكن كيف تختار بعض الأحداث تفضيلاً على غيرها؟ عندما نحفظ تمريناً حركياً تتبعه قائمة من الكلمات، فإننا نحتفظ بالحركة أقل من احتفاظنا بالكلمات التي تعلمناها. ولو قمنا بهذا التعلم بترتيب معاكس، فإن حفظ الحركة يخزن في الذاكرة بشكل أفضل من قائمة الكلمات. يتبنى الدماغ قبل كل شيء عمل دارة على حساب أخرى لتسهيل تخزين مضمونه والتنشيط الأمثل للدارة الملائمة. وبالمثل، إذا تم تعلم تمرينين حركيين بالتتابع، فإن التمرين الذي يبدو مرتبطاً بمكافأة، أي بإحساس أكبر بالسعادة، يحفظ بشكل أفضل، وتخزن ذكراه في الذاكرة. وإذا تم في هذا المثال من المهام إحداث خلل في

عمل هذه الشبكات بتحفيز مغناطيسي للدماغ، فإن الدارتين تنشطان بطريقة متزامنة، ويُحفظ مضمون الدارتين، ويُخزن بالطريقة نفسها.

لفهم آليات التخزين هذه فهماً أفضل، يقارن علماء البيولوجيا العصبية أداء الذاكرة بتردد الموجات الدماغية التي تقاس بتخطيط أمواج الدماغ. وهكذا، يلاحظ أنه عندما يُحفظ حدث بتردد ألفا alpha، فإن هذا الحدث يخزن إن لم يتغير التردد. وتُخزن ذكرى الحدث قليلاً عندما يتغير تردد الموجات الدماغية مباشرة بعد الحفظ.

الحصين، مقر حس التوجه

في عام ١٩٧٨ لاحظ جون أوكيف[٥] John O'Keefe ، وهو عالم في البيولوجيا العصبية في جامعة لندن، أن خلايا الحصين لدى فأر وضع في متاهة تفرغ شحناً كهربائية عفوية. ولا ينطلق التفريغ أثناء انتقال الفأر، وإنما في مواضع خاصة من المتاهة. وأطلق على هذه الخلايا عصبونات المكان. ويوجد لدى الفأر حوالي ٥٠٠ ألف خلية مكانية تتصل من خلال شبكة، وتقوم بعمل خريطة حقيقية تمثل المكان في دماغه. تكمل هذه الخلايا خلايا التوجه التي اكتشفها في عام ١٩٨٥ جيمس رانك James Ranck من جامعة بروكلين، في بنية قريبة من الحصين هي مؤخرة المرفد-post subiculum (قادمة المرفد presubiculum هي منطقة أخرى من اللحاء مجاورة للحُصين). وتنشط هذه الخلايا عند تغير توجه رأس الفار بصرف النظر عن موضعه في المتاهة.

يدمج هذان النوعان من الخلايا خلايا حواسية، لا سيما خلايا النظر لإعادة رسم مسار انتقال الفأر فتسهل بذلك ذاكرته المكانية. وقد أوضحت معطيات التصوير بالرنين المغناطيسي الوظيفي دور الجزء الخلفي من الحصين في القدرة على أن يكون أكثر أو أقل موهبة في حس التوجه.

---

(٥) (جون أوكيف John O'Keefe (١٨ ولد في نوفمبر ١٩٣٩) هو عالم أعصاب أمريكي- بريطاني وبروفيسور في معهد علم الأعصاب الإدراكي وقسم التشريح في كلية لندن الجامعية، يعرف باكتشافه خلية المكان في الحصين واكتشافه ظهور الترميز الزمني في شكل مرحلة إيقاع ثيتا theta phase precession. فاز بجائزة نوبل للطب سنة ٢٠١٤ مع ماي بريت موزرMay-Britt Moser وإدوارد موزرEdvard Moser . اكتشف جون أوكيف في سنة ١٩٧١ المكون الأول لنظام تحديد المواقع داخل المخ البشري، حيث وجد أن نوعاً من الخلايا العصبية في منطقة من المخ تسمى الحصين، كانت تنشط دائماً عند تواجد الفئران في مكان معين داخل الغرفة، وتنشط خلايا عصبية أخرى عندما كانت الفئران تنتقل لأماكن أخرى. واستخلص أوكيف من هذه الملاحظات أن هذه "الخلايا المكانية" تقوم بعمل خريطة للغرفة. المترجم) .

تنتظم في الحصين ثلاث طبقات من الخلايا تقابل شبكة متصلة فيما بينها تسمى CA1 وCA2 وCA3. وتستخدم الطبقتان الأولى والثالثة على وجه الخصوص في الذاكرة العرضية التي تستخدم تنشيط إعادة بناء الذكريات في الزمان و المكان. وما يثير الفضول أن فريدريك هيتي Frédéric Hitti، من جامعة كولومبيا في نيويورك، برهن على أن الطبقة الثانية مسؤولة على وجه الخصوص عن الذاكرة الاجتماعية. فالفئران المعدلة وراثياً التي لا تعمل جيناتها في الطبقة الثانية تفقد ذاكرة اتصالاتها الاجتماعية. تعزز هذه النتائج فكرة أن بعض بنى الحصين تمثل عُقداً جوهرية للاتصالات بين شبكات عصبونات مسؤولة عن أدوار رئيسة في الحفظ، مثل خلايا المكان وخلايا التوجه. وإذا كان الاستخدام الدائم لشبكات العصبونات المنشطة في الحفظ ينتهي بتلف العصبونات فهل تحل العصبونات الجديدة محل العصبونات القديمة التالفة؟

يميل علماء البيولوجيا العصبية بالأحرى إلى فرضية أن العصبونات الجديدة تُضاف إلى الدارات الموجودة. يرى عالم البيولوجيا فريد غاج Fred Gage، من جامعة لا جولا La Jolla في كاليفورنيا، أن الدمج التدريجي للعصبونات الجديدة يُنوع شبكة الوصلات، ويُسهِّل تعلم الوقائع الجديدة، من دون بدء التخزين، ومن دون التداخل مع تنشيط شبكة مشاركة في حفظ وقائع أكثر قدماً. وحتى يكون تخلق النسيج العصبي هذا ناجعاً، ينبغي مع ذلك أن تكون الظروف البيئية مواتية ما أمكن، لتساعد العصبونات الجديدة على الاندماج بفاعلية في شبكة الوصلات الموجودة. والدماغ، بهذا المعنى، ضعيف مثل كل عضو، لكنه يملك قدرات هائلة على ترميم داراته.

الفصل الثالث

قدرات الدماغ على الترميم: يتم تنشيطه ولكنه يرهق نفسه ويرممها

" الجلد داخل دماغي مزين بألوان زرق لا تزول
مطلقاً. إنني إنسان- مخزن. وأحتفظ بكل شيء"
ماتياس مالزيو Mathias Malzieu [1]

يزداد حجمه إن تم تنشيطه

ترتبط قدرة الدماغ على تحسين دارات وصلاته بالطريقة التي نستخدمه بها. يكون الحصين المسؤول عن التكيف اليومي مع البيئة بشكل دائم آلافاً عدة من العصبونات الجديدة كل يوم. وتموت معظم هذه الخلايا لدى البالغ في غضون أسبوع إلى أسبوعين. ومع ذلك يمكن أن يبقى معظمها، وأن يتصل بشبكات عصبونات موجودة تحت تأثير جهد تعلم مستمر ومنظم خلال أيام عدة. ففي هذه الظروف، تبدأ العصبونات بالاتصال ببطء، وتصبح وظيفية كلياً بالاندماج بالشبكات الموجودة بعد شهرين إلى ثلاثة شهور. وما علينا إلا أن نستفيد من هذا العلاج التجديدي الدائم. ورغم أنه تم التحقق تجريبياً من هذه الظواهر لدى القوارض، فإن قدرة الحصين على الاحتفاظ بهذه العصبونات الجديدة حية ترتبط باستخدام الدماغ. إن العصبونات التي تتكون حديثاً أثناء مرحلة تعلم مقاومة جداً. يقول المثل:

---

(١) (ماتياس مالزيو مغني وموسيقي وكاتب فرنسي، ولد في ١٦ أبريل ١٩٧٤ في مونبلييه. وهو مغني فرقة الروك ديونيسوس Dionysus الفرنسية. المترجم).

"استخدم عقلك وإلا فقدته". وما يثير الفضول هو أن علماء البيولوجيا العصبية برهنوا من خلال استخدام اختبارات التعلم المناسبة لدى الفئران على أن ما يعزز اندماج العصبونات الجديدة ليس تمرين الدماغ على ممارسة التمرين نفسه، وإنما تعلم تمرين جديد لم يجرب من قبل مطلقاً، لا سيما إن كان صعباً.

إن ملاحظة مثل هذه الظواهر لدى الإنسان أكثر صعوبة بكثير لأن تصوير الدماغ هو الذي يساعد على التحقق بعد أسابيع عدة من التغيرات الدقيقة في دارات العصبونات. لا تستخدم اختبارات الذاكرة لدى الإنسان قياساً للذاكرة المكانية كما لدى الفئران، وإنما هي اختبارات تُقيّم على وجه الخصوص الذاكرة العرضية التي يتم التحقق منها بسهولة من خلال قدرتنا على استرجاع كلمات تعلمناها أو أيضاً على وصف حدث سبق أن حفظناه. تتساءل عالمة النفس مريام نوكيا Miriam Nokia في نيوجرسي لمعرفة إن كانت العصبونات الجديدة ضرورية للاحتفاظ بأثر كل ما نتعلمه في الذاكرة. وتستخدم للإجابة عن هذا السؤال فئراناً متأقلمة مع الخوف بتعلم الحصول على الغذاء تحت تأثير حافزين مختلفين متتاليين، الأول صوتي والثاني مؤلم. ووزعت الفئران لهذه الغاية على مجموعتين، حقنت الأولى بعقار يوقف انقسام الخلايا، ولم تحقن الثانية بأي عقار. كانت النتائج واضحة: كان من الصعب على فئران المجموعة الأولى الاحتفاظ بتأثير المحفزات. فالاستنتاج الذي توصلت إليه مريام نوكيا هو أن تخلق النسيج العصبي وضع في الحصين بهدف تعلم حل مشكلة أو موقف مقترن بإدراك انفعال عندما يتوقف حفظ الحلول المرتبطة بحل هذه المشكلة. فالخلايا الجديدة التي تندمج بدارات الذاكرة تُعدل خبرتنا الماضية وفقاً لأحداث جديدة للتأقلم مع موقف لاحق.

الرياضة الدماغية

يثبت التصوير بالرنين المغناطيسي الذي يتم أثناء مختلف النشاطات الرياضية زيادة ثخانة قشرة مناطق محددة مرتبطة باكتساب ممارسة تم تعلمها. وهذا ما برهن عليه يونغمين شانغ Yongmin Chang المختص في التصوير بالأشعة في جامعة كيونغبوك Kyungpook في كوريا الجنوبية الذي جمع ملاحظات حوالي عشرين باحثاً في العالم. تزيد نشاطات موسيقية مختلفة (البيانو، والكمان، والناي) ورياضية (الجودو، والجولف، والتسلق، وألعاب الخفة، والتنس) تُمارس لأكثر من ستة شهور حجم القشرة في مناطق تُستخدم بشكل كبير لتنفيذ الحركات التي تم تعلمها وتنسيقها.

وبالمثل، برهن هذا الباحث، من خلال دراسات طولانية تفحص متابعة حجم القشرة كلما مُورس هذا النشاط، على وجود تغيرات متعددة في بنية الدماغ. وبالمقابل، ينقص حجم المناطق نفسها بمجرد توقف الممارسة بعد بضعة أسابيع. يتم تمرين الدماغ إذن مثل تمرين العضلات نوعاً ما.

يعرض مختصون آخرون في البيولوجيا العصبية فرضية أخرى: كلما اندمجت عصبونات جديدة بالدارات الموجودة، تتكون دارة مجددة قادرة على تعلم عناصر جديدة وحفظها فتحل بذلك محل العصبونات الواهنة، والمستخدمة سابقاً، والميتة. ففي هذه الحالة، لا تندمج التجارب السابقة بالتجارب الحالية. ويفيد الحصين في تخزين وقائع محفوظة، وليس لاستعادة حدث ماض. فعلياً، يشبه الأمر حالة الرياضي الذي لم يعد يمارس الرياضة، حتى لو كانت المقارنة غير كاملة: إنه لا يفقد عضلاته فقط، ولكنه يصبح أيضاً أقل فائدة في أدائه.

إيجابيات الإجهاد

لا ترتبط لدونة الدماغ بتأثير عوامل خارجية متعلقة بالبيئة فحسب، بل أيضاً بعوامل داخلية متعلقة بالانسجام والراحة الداخليين اللذين يديرهما تأثير الهرمونات. وهذه المرونة سلاح ذو حدين. إذا كانت حياتنا موزونة بآلية متوازنة وبممارسة تمارين بدنية منتظمة فإن الإجهاد المعتدل والمزمن يُحفِّز عمل الدماغ، ويُحسِّن أداءه، ويصون الآليات الخليوية لتخلق النسيج العصبي. وبالمقابل، إن حصل حدث صادم مرتبط بظرف حياتنا أو بفقدان قريب، فإن إجهاداً شديداً يظهر، ويتلف بسرعة العصبونات، ووصلاتها، وبقاءها. إن الدماغ على اتصال مباشر بالحياة اليومية، لأنه هو الذي يتلقى المعلومات، وهو الذي يقرر إن كانت لا تمثل خطراً فورياً أو كانت خطرة جداً فيُكيِّف سلوكه وقراره. وبمعزل عن إرادتنا، يرسل الجزء اللاشعوري من دماغنا إشارات عدة للغدد الهرمونية التي تتفاعل لحماية معظم أعضائنا من تأثير الإجهاد. وردّاً على ذلك، يصبح الدماغ الذي يفسر الخطر هدفاً له. فحياة كل منا، بعيداً عن حوادث الصراع أو الآلام البدنية أو الذهنية، تحدق بها مواقف بيئية عديدة منشطة لعمل الدماغ والذاكرة. ويمكن أن نسميها "عوامل إيجابية" مرتبطة بأحداث مرهقة طبيعية ومفيدة لعمل الدماغ. تُسهِّل الهرمونات تنشيط دماغنا بطريقة طبيعية جداً في مواجهة العديد من مواقف الحياة اليومية. لنأخذ على سبيل المثال حالة إجهاد حاد نفقد فيها محفظتنا. إن إفراز الأدرينالين ينشط الذاكرة الفورية فنرسم ثانية الطريق الذي سرنا فيه، ونستعيد الماضي المعيش في الساعات السابقة لإيجاد المكان حيث نستطيع أن نبحث عنها. فبعد بضعة دقائق، يزداد الإجهاد، وسرعان ما ترهق ذاكرة الاسترجاع التي ينبغي عليها أن تحلل الموقف بهدوء.

ونصاب بالإرهاق بسرعة بسبب نتائج فقدان أوراقنا، وتصاب ذاكرتنا القرارية بالتشوش، ولا ندري ماذا نفعل.

هل الإجهاد في نهاية المطاف مفيد أم ضار؟ في الواقع، إن هذا يرتبط بشدته وبمدته. فعندما ينبغي علينا أن نستعجل لأنه تبين لنا أننا سوف نفوت القطار أو الحافلة، فإن الذاكرة العاملة التي نشطها الأدرينالين سوف تسهل المشي، وهذا مفيد للسلوك الذي تم تبنيه. لننظر الآن فيما يحدث عندما يصيبنا نزاع في مكان عملنا بالإجهاد لأيام عدة، ويضطرب غذاؤنا ونومنا. ففي هذه الحالة تتضافر تأثيرات هرموني الإجهاد: الأدرينالين والكورتيزول. لا نشعر بالتعب فقط، ولكننا نفقد بسرعة كل حافز فلا نرغب في أي شيء، ويصبح اتخاذ قرار لمشروعنا المستقبلي مشوشاً جداً. يظهر ذلك تغيرات ملموسة في الوصلات بين الحصين واللوزة التي تحلل الانفعالات والقشرة قبل الجبهية المسؤولة عن السلوك القراري. إن حياة طبيعية تحافظ على تنشيط الذاكرة الفورية بتنشيط فوري للدونة المشبكات العصبية في الحصين. وهذا يتوافق كثيراً في نهاية المطاف مع قدرة الحصين على مواجهة تغير في بيئتنا مواجهة سريعة. فقدرة الحصين هذه تساعده على حفظ كل التفاصيل الصغيرة المعيشة في سياق يوم طبيعي من أجل الكشف عن تلك التي يمكن أن تمثل خطراً بهدف تسجيلها، وتكييف السلوك الذي يجب تبنيه إن جرى هذا الحدث من جديد.

حدث خارج عن المألوف يُحفظ في أدق تفاصيله: "الذكريات الوهاجة"

الذكريات الوهاجة ذكريات راسخة مخزنة جيداً في الذاكرة، ومرتبطة بمستوى عاطفي، وبتأثير شخصي أو مجتمعي قويين. المقصود أحداث ولدت مستوى عالياً جداً من المفاجأة، وتطلبت استثماراً شخصياً أو اجتماعياً مهماً، مع مشاركة عاطفية قوية ونتيجة شخصية واضحة.

يرى روجيه براون Roger Brown وجيمس كوليك Hames Kulik، من جامعة هارفارد، اللذان درسا هذا النمط من الذكريات العرضية، أن المعيارين اللذين ينشطا حفظه هما مستوى المفاجأة والنتائج الشخصية. ويعتبران أن آلية ترميز هذه الذكريات خاصة: إنها ترتبط بسبب شحنتها العاطفية بتنشيط متزايد للوصلات بين الحصين واللوزة. وبهذه الطريقة توصف غالباً ذكرى ولادة طفل لدى النساء. وإن كان الأثر الذاكري لهذه الذكريات لدى الكثير من الأشخاص محفوظاً بشكل أفضل من أحداث أخرى ذات انطباع انفعالي ضعيف، فإن تفاصيلها تخمد مع ذلك في نهاية المطاف مع توالي السنين. وتمر آليتها بتنشيط هرموني حاد للشبكات العصبونية المسؤولة عن الذاكرة، تحت تأثير هرمونات الإجهاد على وجه الخصوص.

يرتبط واقع تنشيط دارات الذاكرة وتأثرها بالإجهاد بشبكة مناطق مختلفة تنسق الذاكرة والانفعال الذي نشعر به و/أو المقترن بالحدث الذي نحفظه، وكذلك دماغ القرار والمحاكمة العقلية. والواقع أن الحصين (الذاكرة) متصل باللوزة (التنبيه) وبالدماغ الحوفي (الشعور بالانفعالات وتفسيرها) قبل إرسال هذه الإشارات إلى القشرة قبل الجبهية من أجل تفسيرها النهائي، الذي يجب أن يصدر عنه سلوك ملائم لرد فعلنا على الإجهاد. وقد أثبت فريق إرنو هرمانس Erno Hermans، من جامعة نيميغ Nimègue، أن تنشيط اللوزة يعدل هذه الشبكة وفعالية وصلاتها تعديلاً قوياً.

وهكذا، تحفظ الأحداث المجهدة المصحوبة بانفعال قوي أفضل من غيرها، المقترنة بانطباع انفعالي حيادي، لا بل من دون أي وضوح. والواقع أن إفراز النورادرينالين ينشط لدونة المشبكات العصبية للحصين ويسهل تخزين الحدث الذي تم حفظه في مختلف مناطق القشرة خارج الحصين. إن استعادة مثل هذا الحدث يشرك عدة تصورات تجتمع لخلق الذكرى. وإن تنشيط اللوزة تحت تأثير النورادرينالين يؤثر على عمل مجمل وصلات الدماغ ويزيد لدونتها. وهذا ما يفسر تخزين الأحداث القصيرة المشحونة بالعواطف في ذاكرتنا تخزيناً جيداً جداً.

ملاك أم شيطان؟

تستخدم إعادة تنشيط دارات الذاكرة قدرة الدماغ على اتخاذ القرار، لا سيما عندما ينبغي أن يكون هذا القرار سريعاً. فقدرة الدماغ هذه على مواجهة الحدة الانفعالية لمعيش تم حفظه بتقييم نتائجه، وفقاً للتربية، هي ما يوضحه غالباً إرجيه Hergé من خلال عرض فكر ميلو Milou في مغامرات تانتان Tintin: الملاك أم الشيطان؟

يمكن أن يتخذ الدماغ قراره، في حالة موقف مجهد ينبغي علينا التكيف معه، وفقاً لتنشيط الدارات التي تعمل بطريقة متعارضة: إما بالشعور بالسرور وإما بالشعور بالممنوع. لاحظ تور فاجر Tor Wager، من جامعة كولومبيا في نيويورك، بالتصوير بالرنين المغنطيسي الوظيفي، دارتين مختلفتين يساعد تنشيطهما على تنظيم الشحنة الانفعالية المرتبطة بحدث مجهد، ومنحه بالأحرى إحساساً إيجابياً: "هذا جيد"؛ أو "إحساساً سلبياً": هذا سيء. يرتبط الانفعال الإيجابي الذي نشعر به بالنسبة إلى هذا الباحث بتنشيط العصبونات بين النواة المتكئة والفص الجبهي الأمامي، في حين أن الانفعال السلبي يرتبط بتنشيط الدارات التي توصل اللوزة بالفص الجبهي الأمامي.

مساوئ الإجهاد

تتوقف لدونة عصبونات الحصين إن استمر الإجهاد وطال أياماً عدة، ويمكن أن يقل حجم المادة الرمادية. وينخفض أداء الذاكرة. وتضمر تغصنات (الزوائد الشجرية) العصبونات في الحصين. ويؤثر الإجهاد بطريقة مختلفة جداً بحسب الظروف، والمدة، والشدة. ويحفز الإجهاد أحياناً الذاكرة، ويضعفها أحياناً أخرى. وبشكل عام، يضعنا الإجهاد المزمن في حالة تأهب، وهي نوع من التَرَقُّب والتخوَّف من الخطر الذي ينشط الذاكرة الفورية ويعزز الترميز ولكن، بالمقابل، يضعف هذا الوضع تذكر ذكرياتنا، لا سيما تلك التي جرت قبل بضعة أيام. ففي هذه الحالة، تقوم الهرمونات على وجه الخصوص بدور مؤثر. وما يثير الفضول أن الذاكرة تتأثر كثيراً بنتائج الإجهاد، ولكن الحصين في الوقت نفسه منظم أساسي للانفعالات. وإذا أوهن الإجهاد المزمن شبكات الذاكرة، فإن الإجهاد الحاد المقترن بانفصال مفاجئ أو تبادل اجتماعي مرتبط بحدث مجهد يمكن أن ينبه بقوة تخلق النسيج العصبي، وأن يُنشط دارة الانفعالات. ولهذا يستخدم الحصين وصلات مع اللوزة، وهي منطقة في الدماغ مسؤولة عن التعبير عن الانفعالات القوية مثل الخوف. سوف تتحكم اللوزة بإطلاق هرمونات التنبيه لتشعرنا بخوف، وخطر، لا بل بإجهاد مفزع. تعمل الوصلات مع الحصين بطريقتين. إذا نشط الحصين بقوة بفعل اللوزة، فإن شبكات الذاكرة الفورية تنبه بحدة خلال بضعة دقائق. يتبع ذلك مرحلة تثبيط بهدف إنقاص لدونة الحصين وتمكين الفرد بعد زوال الخطر من استعادة إحساس أكثر طمأنينة بمحيطه. وهذا ما يطلق عليه العلماء اسم "الوسمة الانفعالية" التي توافق غالباً إجهاداً قوياً جداً نحفظ أثره كلياً.

إن ظهرت هذه الوسمات الانفعالية مبكراً جداً خلال الحياة فيمكن أن تندمج للأبد بذاكرتنا. وهكذا، تم إثبات أن انفصالا مفاجئاً وطويلا بين الطفل وأمه يؤدي إلى تنشيط انفعالي لدى الطفل نفسه الذي يصبح بالغاً، يتسم بسرعة تأثر عالية بالقلق. ويبدو أن ذلك نتيجة مباشرة للناقلات العصبية المنطلقة أثناء الإجهاد التي تعدل هذه الوصلات. وإذا كان يعتقد منذ أكثر من ٦٠ عاماً أن اللوزة لها دور في الذاكرة، فإن البحوث الفعلية على الإنسان بدأت منذ ١٩٩٥، بفضل التقدم في التصوير. وهكذا، تم إثبات أن إفراز النورادرينالين، وهو هرمون

التنبيه المنطلق على وجه الخصوص أثناء إجهاد حاد، ينشط بقوة عصبونات اللوزة. والحقيقة أن مركز التنبيه الواقع في الجذع الدماغي يفرز النورادرينالين في حالة الإجهاد. ويثير هذا الهرمون نوعاً ما الشعور الانفعالي المقترن بحدث تم حفظه بأن يخصه بوسمة انفعالية إيجابية، وبالتالي فرحة، أو سلبية، أي حزينة أو خطيرة، أو أيضاً حيادية كلياً. وتتغير هذه الاستجابة الانفعالية تحت تأثير هرمون آخر هو الكورتيزول الذي يفرزه الإجهاد المزمن.

فينا يتعلق بأولئك الَّذِين يدرسون شكلاً من الإجهاد المرتبط على وجه الخصوص بمتلازمة الإنهاك المهني الذي يسمى متلازمة الاحتراق النفسي burn-out، فإن آليات إنهاك الدماغ مختلفة مع ذلك. إن كل الأعراض لدى الَّذِين يعانون من إنهاك الدماغ هي أعراض الإجهاد الممتد: يوجد لديهم اضطرابات في الذاكرة والتركيز، واضطرابات في النوم، وآلام متفشية، وتعب حاد، وقلق، وإحساس بفقدان كل شعور انفعالي. وتشير دراسات عدة أيضاً إلى تغيرات مهمة في إفراز الكورتيزول. ومع ذلك، إن معدل الكورتيزول يزداد لدى بعض المرضى في حين أنه لا يتغير لدى البعض الآخر، وهو ما يدل على أن مستوى الكورتيزول ليس المسؤول الوحيد عن تأثيرات الإجهاد على الدماغ. وبحسب الدراسات الحديثة للتصوير الدماغي فإن درجة قابلية تفاعل الدماغ الانفعالي تقوم بدور أساسي. ويخف نشاط اللوزة بينما يزداد نشاط القشرة قبل الجبهية. وهذه التغيرات ناجمة عن تعديل في الوصلات بين الدماغ الحوفي، والحصين، والفص الجبهي. فالقشرة قبل الجبهية والقشرة الحوفية تفقدان عصبونات خلال متلازمة الانهاك المهني. وفضلاً عن ذلك، إن عدد الوصلات وكثافتها بين الفص قبل الجبهي واللوزة ينخفضان، كما يوضح ذلك التصوير بالرنين المغناطيسي. ويؤدي ذلك إلى عدم القدرة على تعديل الانفعالات، وإلى تفسيرها سلبياً. والواقع أن هذا الخلل يؤدي إلى الاستسلام: لم نعد ندرك أن جميع وسائلنا قد نفدت، وأننا نعرض صحتنا للخطر، ولكننا نستمر في محاولة الصمود، وفي العمل أيضاً، من أجل إرغام جسمنا نوعاً ما على التكيف مع الموقف المجهد. وكأن آلية طبيعية وجدت للحد من تأثير الانفعالات السلبية في الدماغ القراري (القشرة قبل الجبهية).

متلازمة الاحتراق النفسي: عندما يفرغ الدماغ

تطابق هذه المتلازمة إنهاكاً مهنياً مرتبطاً بتراكم الحالات المجهدة. طبقاً للاشتقاق، تصف المتلازمة حالة شمعة لم تعد تظهر سوى شعلة باهتة بعد أن أضاءت ساعات طويلة. إن هذه المتلازمة، التي وصفها عالم النفس الأمريكي هربرت فرويدنبرجر Herbert Freudenberger في عام ١٩٤٧، تشير إلى حالة من الإنهاك البدني والذهني التي يصاحبها إجهاد ممتد لدى شخص فقد الحافز في عمله، لاسيما عندما لا تؤدي مشاركة قوية إلى النتائج المتوقعة.

استخدم فرويدنبرج لوصف المتلازمة الاستعارة التالية: "بصفتي محللاً نفسياً وطبيباً ممارساً، أدركت أن الأشخاص يقعون ضحايا للحرائق، في بعض الأحيان، تماماً مثل المباني. فتحت وطأة التوتر الناتج عن عالمنا المعقد، تستنفذ ألسنة اللهب مواردهم الداخلية، تاركة في داخلهم على وجه الخصوص فراغاً ذهنياً، حتى وإن بدا الغلاف الخارجي سليماً تقريباً، فالبقاء يحثهم على الصمود أطول وقت ممكن" (H. J. Freudenberger, G. Richelson, *Burn-out The High Cost of High Achievement*, Bantam Books, 1981.).

الاكتئاب: مرض دماغي التهابي

يؤدي التعرض المستمر للإجهاد إلى اضطرابات نفسية وبدنية غالباً. وأهمها نوبات الاكتئاب التي يمكن أن تؤدي أحياناً إلى المرض الاكتئابي. ومع ذلك، ينجح كثير من الأشخاص في التغلب على تأثير الإجهاد الممتد فلا يتطور الأمر لديهم إلى مرض اكئتابي. ومن أهم العوامل التي تسهم في هذا التفاوت بين الأشخاص تأثير جيناتنا: إننا نولد مع قدرة مختلفة على مقاومة آثار الإجهاد نفسيا. وهناك اختلافات مرتبطة بتأثير الهرمونات في الدماغ. وهكذا، يملك أصحاب الطبع الحيوي والجريء دماغاً أكثر توجهاً نحو العمل، جزئياً بسبب تأثير أقل أهمية لناقل عصبي يخفف عادة نشاط وصلاتنا: السيروتونين. وبالمثل، إن تنشيط إطلاق هرمونات الإجهاد، مثل الكورتيزول، يختلف بالنسبة إلى إجهاد معين بحسب الأشخاص. وتتدخل أيضاً عوامل نفسية اجتماعية ومعرفية: يتكيف المرء تقريباً و/ أو يتربى على حل الصراعات بمساعدة أقاربه أو يطمح بالأحرى إلى إخفاء كل شيء عنهم من أجل تدبر نفسه بمفرده.

إن أحد منظمات الإجهاد الذي يقوم بتعديل تنشيط اللوزة يوافق القدرة على التفكير مع الذات بتعديل الانفعال المقترن بهذه الصراعات، الذي يسمى "إعادة التقييم المعرفي". عندما يستخدم عقلنا هذه الإستراتيجية، فإننا نعيد التفكير في هذا الحدث المجهد ساعات عدة، لا بل أياماً عدة بعد أن عشناه. إننا نعيشه ثانية، ونعيد تفسير كمية الانفعال والانطباع العام الذي اقترن به. عندئذ، يقول المرء أحياناً في نفسه ولنفسه: "لقد أحسنت صنعاً برفضك، وكرهك، فلا تلومن نفسك"؛ ففي هذه الحالة نعيد التقييم الإيجابي للانفعال المقترن بهذا الحدث. وعلى العكس من ذلك، نرى أحياناً أننا كنا بعيدين جداً، ونحكم بأننا كنا متفائلين جداً في قرارنا فنميل إلى التراجع عن رأينا فنقرن بعدياً انطباعاً انفعالياً سلبياً بسلوكنا: "لقد كنت فظيعاً". إن هذا التنظيم البعدي مفيد لأنه يسهل إعادة تقييم قرارنا، ويخففه غالباً فيشجع على قبوله: باختصار، إننا نتقبل بشكل أفضل حدثاً مجهداً بإعادة تذكره مع تعديل انطباعه الانفعالي. وتصبح أحياناً إستراتيجية إعادة التقييم هذه سلبية لأنها تجبر الفرد على أن يحكم على نفسه بأنه سيئ فيما بعد. وهي مقترنة غالباً بعدم تنشيط الفص قبل الجبهي الذي يحتفظ عادة بالمعلومات التي تلقاها من القشرة الحوفية واللوزة. ففي هذه الحالة، تختل إستراتيجية إعادة التقييم المعرفية، ويمكن أن تؤدي إلى متلازمة اكتئابية.

يقترن غالباً الاكتئاب العصبي، وهو مرض يسبب إعاقة خطيرة في حياة الفرد، بوجود علامات التهابية. فهذه العلامات التي يتم اكتشافها من خلال تحليل الدم تشير بأن متلازمة التهابية يمكن أن تكون مقترنة بآليات الاكتئاب. والحقيقة أنها يمكن أن تعدل عمل الشبكات العصبونية، وأن تؤدي إلى اضطرابات معرفية، وإلى إتلاف الذاكرة، وتفاقم الاكتئاب بصورة دائمة. فكيف يفسر ذلك؟ في حالة الإصابة، يبدأ كل شيء بحادث التهابي وبالأعراض المرافقة: احمرار، وتورم، وحرارة. وتجذب الأوعية الدموية خلايا تدافع عنا ضد الجراثيم، وتقوم بتدميرها. ومما يؤسف له أن هذه الخلايا تنتج في الوقت نفسه إشارات تسمى "سيتوكينات" cytokines تنتشر في الجسم كله. ويمكن أن تنطلق هذه الإشارات في حالات الإجهاد، ولكن بكمية قليلة. وتؤثر في الدماغ فتعدل توازن الناقلات العصبية، وتجعلنا نشعر على الفور بأننا مرضى. يترجم ذلك بالأعراض التي يعرفها الجميع: إحساس بالتعب، واضطرابات في النوم، وفقدان الشهية، وفقدان الدوافع، ورغبة في عدم عمل أي شيء، وصعوبات في التركيز، وفي الحفظ. هذا الوعي بالحالة المرضية يديره كلياً الدماغ الذي يجبرنا على اللجوء إلى الراحة، والحمية، والتعويض. وتختفي الأعراض عادة بعد بضعة أيام، ولكن إن استمر الالتهاب وأطاله

مرض مزمن، فإن هذه التغيرات السلوكية يمكن أن تشتد حدتها، وأن تتطور إلى الاكتئاب. وتزيد أعراض الاكتئاب وتطيل الأعراض التي نشعر بها خلال "مرضنا": مزاج اكتئابي، وفقدان الشعور بالسعادة، وفقدان الطاقة، وشعور بانحطاط الشأن، لا بل بالذنب.

عندما تنشأ الظواهر الالتهابية، تنشط السيتوكينات أنزيماً يتلف التريبتوفان، وهو حمض أميني يبشر بالسيروتونين، أي الهرمون الذي ينظم المزاج في الدماغ. والحقيقة أن النقص في إنتاج السيروتونين يكون مسؤولاً غالباً عن الاكتئاب، مع اضطرابات في المزاج، وانخفاض في الإحساس بالفرح والسعادة، وزيادة في الشعور بالحزن. وما يلفت النظر أن تغيرات بدنية، مثل المتلازمة الأيضية التي ترافقها زيادة معتدلة في الوزن والبدانة، تتميز بالتهاب مزمن يزيد من خطر حدوث الاكتئاب. وبالمثل، إن واصمات الالتهاب التي تم تشخيصها بواسطة جرعة سيتوكينات الدم تخف أثناء فقدان الوزن الذي يرافق تحسن مزاج الأفراد المعنيين.

الإحباط النفسي: آلية طبيعية لحمايتنا

إن كانت صحتنا جيدة، فإن قدراتنا الذهنية التي يشكلها طبعنا وتربيتنا تجبرنا على مواجهة الضراء، مثل حدث شخصي خطير ومجهد على وجه الخصوص، أو أيضاً ظهور مرض مفاجئ. ففي الحالة الأخيرة، ينشأ التهاب تدريجي لا يعطي أية إشارة عامة (لا يوجد حمى، ولا ألم)، ويصيب الدماغ من خلال إشارات كيميائية، تسمى السيتوكينات. تعدل السيتوكينات عمل الناقلات العصبية المسؤولة عن الدوافع، والمزاج الجيد، وإدراك الشعور بالراحة. فعلى مستوى الدماغ، يؤدي تعديل الوصلات إلى إضعاف الرغبة والدوافع والنشاط الحركي، وهو ما يجبر المريض على الراحة. وبالمثل، تقلل هذه الإشارات الكيميائية الوصلات بين الدماغ الانفعالي والفص قبل الجبهي، وهو ما يؤدي إلى القلق والحذر المفرط، وحتى إلى تنشيط سلوك الرفض الاجتماعي: يرغب المرء في أن يكون وحيداً.

تكمل كل هذه الملاحظات التي تم الحصول عليها بتصوير الدماغ ملاحظة انخفاض فعالية الذاكرة التي أحدثتها هذه الإشارات، والتي سهلت بذلك سلوكاً يخفض النشاط والدوافع، ويجبرنا على الراحة، والتعويض في نهاية الأمر.

إن تمت المحافظة بانتظام على تخلق النسيج العصبي فإن الدماغ المرهق بتـأثير الإجهاد والشيخوخة، يمكن أن يرمم وصلاته. وينبغي من أجل ذلك أن يبقى في أحسن حالة، وأن يتم تمرينه بالطريقة المناسبة. تشير الدراسات الجوائحية التي أجريت على مجموعة من الأشخاص منذ ٢٠ عاماً، وفقاً لعلماء طب الشيخوخة النفسي، إلى أهمية تنبيه الدماغ باستمرار. وهكذا، يمكن لبيئة منشطة أن تقينا من الشيخوخة المعرفية بشكل مستديم، حتى لو تقدمنا في العمر.

الفصل الرابع

كيف نكتشف سر قدراتنا العقلية؟

"لدينا كل شيء. لا شيء يفوتنا. المشكلة
الوحيدة هي ضخامة ما لدينا".
جيف ليشتمان Jeff Lichtman [1]

التصوير بالرنين المغناطيسي: من أجل رؤية ما في رأسنا

بدأ استخدام التصوير بالرنين المغناطيسي لملاحظة ما في داخل الدماغ في عام ١٩٧٧. وهو أداة لافتة للنظر لأنه يساعد على عرض محتوى الجمجمة بشكل مباشر، من دون فتح الرأس. تُحدد هذه الطريقة كمية ذرات الهيدروجين، لا سيما الموجودة في الماء أو في دهن أعضائنا. والواقع أن هذه الذرات تستطيع، عندما توضع في مجال مغناطيسي قوي، امتصاص جزء من إشارة كهرومغناطيسية محرضة. وتتناسب الشدة طرداً مع كمية ذرات الهيدروجين في النسيج الذي يتم تحليله. فتوجيه المغناطيس بمستويات مختلفة بالنسبة إلى وضع الرأس يمكننا من إعادة تشكيل الصور ببعدين أو بثلاثة أبعاد. وإنه لمن السهل أن نميز في الدماغ المادة البيضاء[2] من المادة الرمادية. وتستخدم هذه الطريقة أيضاً على نطاق واسع لتحديد مكان الأورام أو النزيف مع تغير أو زيادة درجة الماء في

(١) (أستاذ البيولوجيا الجزيئية والخلوية في جامعة هارفرد. المترجم) .

(٢) (المادة البيضاء قسم من الجملة العصبية المركزية التي تتكون من عصبونات أو محورات مغمدة بالنخاعين لذا تبدو بيضاء. وتوجد في المناطق الخارجية من النخاع الشوكي وفي المناطق تحت القشرية من الدماغ. المترجم).

الأنسجة. وقد ظهر التصوير بالرنين المغناطيسي الوظيفي في عام ١٩٩٢من مبدأ التصوير بالرنين المغناطيسي. ويعتمد على الخصائص المغناطيسية لتحديد الهيموغلوبين الموجود في الدم. وعندما تنشط شبكة من العصبونات يزداد استهلاكها للأوكسجين، ويحدث بالتالي تغير في كميات الهيموغلوبين الغني والفقير على التوالي بالأوكسجين في مكان محدد من الدماغ. وميزة ذلك الحصول في وقت حقيقي على صور تنشيط دارات الدماغ، في أقل من عشر الثانية، وبدقة تقع في حدود الميلمتر المكعب.

ثمة طريقة أخرى، مستمدة من التصوير بالرنين المغناطيسي، تم تطويرها في عام ٢٠٠٠ لإعادة تشكيل مسار الألياف العصبي بصرياً، وبالتالي ملاحظة مسار الوصلات بين الفصوص مباشرة. المقصود تصوير الانتِشار المُوَتِّر IRM-DTI الذي يسمى أيضاً اختصاراً تصوير الانتشار IRMd. ويمكن بهذه الطريقة ملاحظة الحركة المتجانسة تقريباً لجزيئات ماء الدماغ. والواقع أن العصبونات تحتوي، مثل كل الخلايا، على كثير من جزيئات الماء. إن حركة الجزيئات داخل المحوارات، وهي أسلاك تربط بين العصبونات، مقيدة وبالتالي غير متجانسة في الفضاء. يساعد ذلك على إعادة تشكيل صورة الألياف بحجم نسيج معين في حين أن جزيئات الماء خارج الخلايا لها انتشار في الفضاء أكثر تجانساً بخمس مرات. وقد اهتم فان ج. وِيدين Van Jay Wedenمنذ عام ٢٠٠٨بمثل هذا العمل الذي يقوم على إعادة تشكيل الصور هذه التي تؤدي إلى شبكة عنكبوتية ضخمة من مركز التصوير الطبي الاحيائي في بوسطن. يعيد الحاسب تشكيل الصور حيث تظهر خارطة حزماً من الألياف العصبية، وهي عبارة عن تشابك حقيقي من الأسلاك التي يمكن لأكثرها دقة أن يربط بين العصبونات التي تبعد عن بعضها مسافة تتراوح بين جزء من المليمتر وعدة سنتيمترات. وهكذا، يمكن إجمالاً إعادة تشكيل شبكة عملاقة تحتوي على ١٦٠ ألف كم من الأسلاك. يلاحظ ويدين هذه الشبكات في دماغ مختلف الحيوانات وفي دماغ الإنسان. إجمالاً، يتبع مسار الألياف المحاور التشريحية الرئيسة لنمو الفصوص الدماغية: المحور الأمامي الخلفي، والمحور الأيمن-الأيسر، والمحور الذي يصل بين المركز (نواة الدماغ) والقشرة، أي السطح. يرى ويدين أنه من المحتمل أن أفكارنا تسير مثل حافلات كهربائية في هذه الألياف، معبرة عن الإمكانيات العديدة للوصلات بين العصبونات.

إن معرفة هذه الخارطة الهائلة للوصلات يعدل التصور التقليدي للدماغ المجزأ إلى مناطق وظيفية منفصلة ومحددة الموضع مثلما وصفها برودمان في بداية القرن العشرين. ونميز في هذا التصور المنطقة الحركية، والمنطقة الحسية، والمنطقة البصرية، والمنطقة اللغوية، وحوالي ٥٠ منطقة تقدر مساحة كل منها بحوالي ٤٠ سم٢. والواقع أن هذا التفسير ليس خاطئاً، ولكنه لا يمثل سوى جزء صغير من دور العصبونات، وهو الجزء الذي كان الأكثر سهولة في إمكانية اكتشافه انطلاقاً من ملاحظة آفات محددة الموضع في الدماغ. ونعرف حالياً، منذ التصوير الوظيفي، أن مناطق عدة من الدماغ تتصل ببعضها من أجل مهمة معينة: يستخدم تذكر وجه ما حوالي عشر باحات مختلفة أحياناً.

درس باحثون من نيوآرك Newark (نيوجرسي) ولوس أنجلوس في الولايات المتحدة حالة تنشيط الدماغ في أثناء مهمة ذهنية قبل أن يدركها الشخص بشكل واع. ويعتقد الباحثون أن القدرات الذهنية لا تتعلق بباحات محدد موضعها بدقة وإنما بتنشيط شبكات عصبونية تعمل بشكل متعاقب زمنياً. وعندما نعرف بالتفصيل طرق الاتصالات في هذه الشبكات يمكننا وضع خارطة، أو بيان بمختلف الوظائف الذهنية. ونستطيع عندئذ قراءة أفكار الشخص في وقتها الحقيقي، وتفكيره التجريدي، وربما أيضاً صدقه وكذبه. لقد بدأ بالفعل إنجاز الطرق التي تسلكها الاتصالات العصبونية التي تقابل الوظائف الذهنية الأساسية، وهو يهدف إلى رسم خارطة كاملة لوصلات الدماغ البشري. إنه مشروع كونكتوم Connectome.

مشروع كونكتوم: كيف يُنسج الفكر؟

أطلق المشروع، في عام ٢٠٠٥، أولاف سبورنز Olaf Sporns من جامعة إنديانا، وباتريك هاغمان Patrick Hagmann من مشفى لوزان الجامعي. يهدف المشروع إلى رسم خارطة لوصلات الدماغ العصبونية. فإنجاز هذه الخريطة الهائلة يعني تمثيل كيفية سير السيال العصبي من مجموعة من العصبونات إلى مجموعة أخرى، لا بل من عصبون إلى آخر. إن ملاحظة البيانات المراد الحصول عليها لرسم هذه الخارطة فائقة الحد. ويطمح المشروع إلى إظهار هندسة العصبونات الدقيقة ووصلاتها. ومع ذلك، لا يمكن دراسة شبكة العنكبوت الهائلة هذه بالتفصيل إلا بعد فهم كيفية نشوء الوصلات على مقياس خلية واحدة. ولفهم هذا العمل، يعتبر المقياس بالميلمتر أكبر بحوالي ١٠٠ ضعف تقريباً، إذ ينبغي

رؤية ما يحدث على مستوى المشبك العصبي، أي المكان الذي يتصل فيه عصبونان متجاوران لتبادل سيال عصبي كهربائي أو مفتاح كيميائي. وهذا المشروع ثمرة تطور ملاحظات تم الحصول عليها، وتتعلق بتنظيم الدماغ الذي تتصل مناطقه أو فصوصه ببعضها البعض بألياف عصبية. لاحظ منذ عام ١٨٧٠علماء عدة في تشريح الدماغ منهم تيودور ماينرت Theodore Meynert[٣]، بفضل التشريح الدقيق وتلوين الألياف التي تحتوي على الميالين (النخاعين)، وجود ألياف تربط بين مختلف بنى الدماغ، مثل ألياف الإسقاط على مسافات قصيرة، أي أقل من ١ سم، وألياف الربط التي تربط مختلف المناطق البعيدة والتي يصل طولها إلى حوالي عدة سنتمترات. ففي عام ١٨٧٦ قام بول إميل فليكسيغ Paul Emil Flechsig[٤]، وهو عالم ألماني في تشريح الدماغ، بتلوين الألياف ووصف حزماً عدة منها، ومسارها، ووظيفتها.

وهكذا، تم منذ تلك الفترة إطلاق سباق حقيقي لخرائطية الدماغ. كانت الملاحظات الأكثر تفصيلاً من تقديم علماء تشريح الدماغ في برلين سيسيل و فوغت Vogt اللذين اكتشفا ١٠٧ مناطق من قشرة الدماغ في عام ١٩٢٧، وذلك من خلال متابعة وصلاتها على المستوى التشريحي. وهذا أول أطلس كامل للدماغ في العصر الحديث. ويهدف مشروع كونكتوم إلى وضع هذه الخارطة انطلاقاً من متابعة ١٢٠٠ متطوع سليم تم تصويرهم بالرنين المغناطيسي والرنين المغناطيسي الوظيفي . ولبلوغ

---

(٣) (طبيب أمراض عقلية نمساوي (١٨٣٣-١٨٩٢). المترجم).

(٤) (مكتشف السَّبيلُ النُّخاعِيُّ المُخَيخِيُّ الظَّهْرانِيّ أو السَّبيلُ النُّخاعِيُّ المُخَيخِيُّ الخَلْفِيّ أو حُزْمَةُ فليكسيغ أو سَبيلُ فليكسيغ (بالإنجليزية dorsal spinocerebellar tract :أو posterior spinocerebellar tract أو Flechsig's fasciculusأو Flechsig's tract). يقوم السَّبيلُ بنقل (حَمْل) معلومات الحِسّ العميق من مُسْتَقْبِلات الحِسِّ العَميق في المفاصِل والعضلات الهيكليّة إلى المُخَيخ .إنّه جزء من الجِهاز الحِسِّيّ الجَسَدِيّ ويسير بتوازٍ مع السَّبيلُ النُّخاعِيُّ المُخَيخِيُّ البَطْنانِيّ، ويحمل معلومات الحس العميق من المِغزَلات العضليّة وعُضْوُ غولْجِي الوَتَرِي للجزء المُماثِل من الجِذع والطَّرَف السُّفليّ. تُؤخَذ معلومات الحس العميق إلى الحَبْل النُّخاعيّ عبر استِطالات مَركزيّة لعُقْدَةُ الجَذْرِ الظَّهْرانِيّ (عَصبونات من الرُّتبَة الأولى). تُسافِر هذه الاستطالات المَركزيّة عبر القَرْنُ الظَّهرانيّ للنُّخاع حيث تَتشابَك مع عَصبونات الرُّتبَة الثَّانية لنَواة كلارك. تحمِل ألياف المِحوار من نَواة كلارك معلومات الحس العميق في الحَبْل الشَّوكيّ في المنطقة المُحيطيّة للحَبْلَة الخَلْفِيَّة المُماثِلة. تَستَمِر الألياف في مَساقِها عبر النُّخاع المُستَطيل وجسر جذع الدماغ، وفي نُقطة مُعيَّنة تمر عبر السُّوَيقَةُ المُخَيخِيَّةُ السُّفْلِيَّة وإلى داخل المخيخ حيثُ تُعالَج معلومات الحس العميق اللّاشُعور. يَكْتَنِف (يَشمَل) هذا السَّبيل عَصَبونَين وينتهي عند نفس الجانِب من الجسم. المترجم).

هذا الهدف، يدمج علماء التشريح اليوم ثلاثة أنماط من التقنيات المنبثقة عن التصوير بالرنين المغناطيسي IRM. وهي مقاربة للحصول على صور، تصور مناطق الدماغ ووصلاتها بالرنين المغناطيسي والانتِشار المُوَتِّر، بدقة تفوق المليمتر. ويهدف هذا الجزء من المشروع الذي أطلق عليه اسم تراكتوغرافيا Tractographie(٥) إلى مقاربة الوصلات ووصف تنوعها بشكل أفضل، وفهم الرسم البياني لتكونها. تستخدم تقنية ثانية التصوير بالرنين المغناطيسي الوظيفي في حالة الراحة لملاحظة ما هي شبكات العصبونات التي تنشط عفوياً عندما "لا يفكر الشخص في شيء". وتجمع هذه المعلومات مع قياسات للمجالات المغناطيسية التي تقاس على سطح الجمجمة التي تعبر عن انتقال السيال العصبي في حزم الألياف بفضل رسم الدماغ الكهربائي ورسم الدماغ المغناطيسي. ينبغي على سبيل المثال، بالنسبة إلى قشرة الدماغ التي تحتوي على حوالي ٢٠٪ من عصبونات دماغ الإنسان، تحليل كابلات عدد مرتفع جداً من المكعبات النظرية من المادة الرمادية بحجم حوالي ١ ملم٣ بتصوير الانتِشار المُوَتِّر (تصوير الانتشار)- الأمر الذي يمثل تحليلاً دقيقاً لحوالي ٨٠٠ ألف مكعب صغير الحجم.

خارطة الدماغ: مسألة أبعاد

لا يعتبر مفهوم المقياس أمراً سهل التصور عندما نتكلم على الدماغ. ففي أقل من ملم واحد تنشأ أيضاً ألاف من الوصلات بين العصبونات المتجاورة. ففي ١ ملم٣ يمكن أن يوجد من ٢٠ إلى ١٠٠ ألف عصبون تبعاً لمنطقة القشرة موضوع الدراسة. ولهذا فإن الباحثين يستعينون على هذا المستوى بالميكروسكوب، ويقسمون قشرة الدماغ إلى مكعبات صغيرة ضلع كل منها ١ملم، ثم يقسمونها إلى شرائح دقيقة تفحص كل منها بالميكروسكوب، ويجمعون الصور التي حصلوا عليها لإعادة بناء صورة ثلاثية الأبعاد للوصلات في حجم معين. ولكن يبقى هناك كثير من الوصلات. لتبسيط الأمر، يقوم الباحثون بتقطيع مكعب أصغر حجماً إلى مكعبات ضلعها واحد على عشرة مليمتر فقط، ويوجد فيها حوالي ٢٠ عصبوناً، وهنا يصبح تصور الرسم البياني للوصلات أكثر سهولة، وهي مع ذلك وصلات عديدة جداً أيضاً.

(٥) (تقنية تصوير طبي مستمدة من التصوير بالرنين المغناطيسي، تتيح إمكانية دراسة حزم مختلفة من الألياف العصبية في المادة البيضاء في الدماغ (نسيج الدماغ الذي يحتوي على هذه الألياف). المترجم).

ينبغي من أجل إنجاز هذه الخارطة أن يتمكن مختصو المقياس الكبير، أي الذين "يعرضون" مسار الألياف في الدماغ بأكمله، من مقارنة بياناتهم مع مختصي المقياس الميكروسكوبي، وهو المقياس الذي يعرض فيه مسار اتصالات عصبون مع عصبون آخر بمقياس يقل عن عشر المليمتر. ويبدو أن الحزم المكونة بمقياس كبير لا تستخدم منطق البناء الذي تستخدمه الحزم العصبونية بمقياس صغير. ولا ينتهي العمل بمجرد الحصول على الاتصالات: ينبغي تشغيل الحزمة وامتلاك فكرة عن طرق الاتصالات التي تنشأ في شبكة العنكبوت الضخمة هذه. ولهذا يمكن استخدام نمطين من التقنيات لرؤية كيفية عمل الدماغ في الزمن الحقيقي: من جهة الرنين المغناطيسي الوظيفي، ومن جهة أخرى تسجيل الموجات الكهربائية للدماغ الذي يستخدم تخطيط أمواج الدماغ EEG أو تخطيط الدماغ المغناطيسي MEG. وتميز هذه المناهج دراسة الكونكتوم "الوظيفي"، أي العصبونات في أوج عملها. والهدف مهم. فبتحليل نمط الشبكة المنشطة بحركة بسيطة مثل حركة رفع الإصبع، يمكن عرض طريق الاتصالات في الدماغ. وتشير العديد من الملاحظات التي تم الحصول عليها من خلال مئات الأشخاص الذين تم تحليل نشاطهم الدماغي "أثناء الراحة" أن رسماً بيانياً للتنشيط الأساسي يستخدم لديهم جميعاً، ويقلد تقريباً عمل الدماغ "اللاشعوري". فإذا طلب تنفيذ مهمة دقيقة تنشط شبكة أخرى، وتقابل هذه الشبكة حالة ذهنية يدركها شعورياً الشخص الذي ينفذ هذه المهمة. وهكذا، إن التصوير بالرنين المغناطيسي الوظيفي أثناء الراحة يوضح العمل الدائم لشبكات العصبونات التي تنشط تلقائياً حتى عندما لا نفكر في شيء أو عندما ننام. وتعدل هذه الشبكة "الافتراضية" تبعاً لمسارات متغيرة جداً ما أن تبدأ مهمة خاصة: حركة، فكرة ملموسة، استعادة ذكرى، عبارة لغوية، إلخ.

يدرس الباحثون مجمل الوصلات المنشطة في أثناء تنفيذ وظيفة ذهنية بسيطة، بدلاً من التركيز على منطقة خاصة من الدماغ "تعرف" بمسؤوليتها عن تنفيذ هذه الوظيفة. ويوضحون، بفضل الأدوات التي يمتلكونها، أن وظائف ذهنية عدة تتطلب شبكات عصبونية ممتدة عبر الدماغ كله. وقد قامت دراسة أولى على ملاحظة حوالي ١٥٠ شخصاً، ينبغي على كل منهم تنفيذ عمل دقيق. جمع الباحثون التنشيط الدماغي بالرنين المغناطيسي الوظيفي لأكثر من ٥٠٠ ألف نقطة مختلفة من سطح القشرة. وحصلوا بذلك على "خريطة الشبكات" التي تنشط، فقدموا بذلك جدولاً وفقاً للمهمة الذهنية المنفذة. وهكذا بدأ مشروع بلوبرنت Blueprint في عام ٢٠٠٨.

وأما التكنولوجيا الثالثة التي تربط هذه المعلومات فهي المعلوماتية. يساعد تصميم برامج نمذجة تنشيط الشبكات العصبونية واصطناعه على تحديد نماذج رياضية، تقدم رسماً بيانياً لحركة المعلومات التي يحملها انتقال السيال العصبي عبر الشبكات العصبونية. وتكشف عن وجود "عقد"، وهي نوع من مفارق الطرق التي تتركز فيها سوائل عصبية، ومناطق تصفية (فرز)، ومناطق اتصال بعيد المدى. وهكذا يمكن، بحسب الملاحظات التي تمت نمذجتها، عمل رسم بياني لمنطقة دماغية (أي ما يعادل تقريباً حجم قطعة سكر)، تحتوي على حوالي ١٠٠ مليون عصبون، تمثل مجموعة من الوحدات الصغيرة المستقلة التي تَعد كل واحدة منها حوالي ٥٠٠ ألف عصبون.

تتضمن كل وحدة الوصلات قصيرة المدى التي تخصها، ويوجد فيها مفرقان أو ثلاثة مفارق طرق يمكن من خلالها تبادل السيالات العصبية بشكل سريع مع عصبونات تقع في وحدات مجاورة. وتوجد في كل وحدة مجموعات من العصبونات الواقعة على السطح، يمكن أن تنشأ انطلاقاً منها اتصالات باتجاه وحدات أخرى. وباختصار يوجد، على مستوى بضعة مئات من المليمترات المكعبة، تسلسل معقد من الوصلات والألياف.

الاتصالات الدماغية: شبكة ويب مصغرة مقياسية التناسب

إن تنظيم الدماغ هو دمية روسية[٦] حقيقية حيث يتضمن فص مناطق عدة تصل نفسها بين آلاف الوحدات التي تعمل إما بتبادل معلوماتها وإما باتصال بعضها عبر ألياف بعيدة المدى بوحدات أكثر بعداً. ويمكن مقارنة هذا العمل بشبكة أنترنت داخلية لشركة معينة حيث ينتقل أكبر قدر من المعلومات داخلياً. وفضلاً عن ذلك، ترسل بعض العصبونات، حيث تقع عقد التبادل، رسائل لمتلقين بعيدين جداً، مثل الموظفين الإداريين في الشركة الذين يتبادلون المعلومات مع مساعديهم الأجانب. إن آلية الدور الخاص بتنشيط الشبكات قصيرة المدى مقارنة بالتبادل بعيد المدى هي مفتاح الاتصالية الوظيفية لشبكات العصبونات.

---

(٦) (الدمية الروسية أو ماتريوشكا بالروسية (Матрёшка) :هي عبارة عن دمية تتضمن داخلها عدة دمى أخرى بأحجام متناقصة، بحيث أن الأكبر يحوي الأصغر منها وهكذا. تعرف اللعبة أيضاً باسم بابوشكا. تصنع الدمية عادة يدوياً من الخشب مثل خشب الزيزفون أو خشب الصندل.ويختلف طرازها حسب الصانع، لكنها عادةً ما تمثل المرأة الروسية الريفية باللباس التقليدي سارافان Sarafan .وترسم ملامح المرأة وبناتها اللاتي يشبهنها وغالباً ما يغطى الرأس باللون الأحمر إلا أن هناك تطوراً في الألوان .ويبدأ الصانع برسم ملامح الوجه قبل التلوين. المترجم).

ينبغي على الدماغ أحياناً، عندما يتعلق الأمر بالسرعة الكبيرة في اختيار سلوك إرادي، استخدام اتصالات بعيدة المدى. ويستطيع من أجل ذلك استخدام طرق سريعة: يتعلق الأمر بألياف بقطر كبير ترسل إشارات لمسافة طويلة، تتجاوز ٥ سم أحياناً. ويمكن أن ينظم الدماغ أيضاً المعلومات التي ينبغي عليه نقلها. سوف يقوم، في هذه الحالة، بمزامنة نقل السيال العصبي إلى مختلف الشبكات لتعزيز فعالية سرعة النقل. وهكذا، تفرض بعض العصبونات "إيقاعاً"، أي تردداً في إرسال الإشارات الكهربائية لاختيار وضم بعض مناطق القشرة التي ينبغي أن تنشط بشكل سريع ومتزامن. فعندما نركز انتباهنا على إدراك صورة معينة، على سبيل المثال، تستوقفنا بعض العناصر وليس كل التفاصيل.

لهذا يريد الدماغ الإسراع، ويستطيع إرسال إشارات إلى القشرة قبل الجبهية، انطلاقاً من المعلومات التي تم التقاطها في المناطق الحسية. ويحلل عندئذ سريعاً الإشارات ويقرر: هذا جميل/ ليس جميلاً، هذا مقلق/ مطمئن أو أيضاً هذا يثير فيّ شعوراً / لا يثير فيّ شعوراً. ويقوم المهاد، وهو جزء من الدماغ باختيار المعلومات المراد إرسالها إلى قائد الجوقة أي القشرة قبل الجبهية، بتصفية السيالات العصبية من أجل استخدام بعض الشبكات وإرسال المعلومات بشكل أسرع للقشرة الجبهية. وتعمل عصبونات المهاد مثل "المراقبين الجويين" فتفرض سرعة،وممراً وطريقاً على المعلومات التي ينبغي أن تصل للقشرة بأسرع ما يمكن. وقد برهن يوري سلمان Yuri Saalman من معهد العلوم العصبية في برنستون بدراسة آليات الانتباه البصري لدى الماكاك (القرد الآسيوي) على هذه الظواهر في عام ٢٠١٢، انطلاقاً من ملاحظات حصل عليها بتصوير الانتشار.

موجات دماغية من أجل التواصل بشكل أفضل

يمكن تصور عمل شبكة الدماغ على أنه كمية هائلة من العصبونات المتصل بعضها ببعض في الفضاء. لا يرتبط عمل مثل هذه الشبكات بتنظيمها فقط - كيف تبنى هذه الشبكة؟ - وإنما أيضاً بالطريقة التي تنشط فيها كل شبكة، وتنقل معلومات إلى شبكة بعيدة. ويعمل المختصون في فيزيولوجيا الجهاز العصبي على قياس النشاط الكهربائي للدماغ لفهم عمل هذه الشبكات العصبونية. وإن عصبوناً كبيراً مثل العصبون "الهرمي" يمكن أن يتصل بعشرة آلاف عصبون آخر مع تنشيط أو تثبيط لنقل السيالات العصبية. إن التسجيل الكهربائي الناتج بتخطيط أمواج الدماغ يمثل متوسط مجمل السيالات العصبية المتبادلة، الذي يترجم بتردد ذبذبات من الحقول الكهربائية من ٣ دورات/ ث إلى أكثر من ٣٠ دورة/ ث. ويعبر هذا النشاط المتذبذب عن حالة تزامن عدد من العصبونات المنشطة في الوقت نفسه. ويبرهن المختصون في البيولوجيا العصبية على أن التغير السريع لتردد هذه الحقول هو الذي يعبر عن تشغيل أو تعديل تنشيط مختلف الشبكات.

وهكذا، إن تنفيذ حركة دقيقة أو تشغيل الذاكرة العاملة لحل عملية حسابية ذهنية بسيطة يزيد التردد بين ٥ و٣٠ دورة/ ث. فهذه الترددات المرتفعة تميز نشاط الوصلات قصيرة المدى. وبالمثل، تنشأ وصلات بعيدة المدى أثناء النوم أو أثناء تمارين الاسترخاء أو التأمل يعبر عنها تردد ضعيف للذبذبات، يقل عن ٣ دورات/ ث. يرى فرانسيسكو فاليرا Francisco Valera، المختص في البيولوجيا العصبية في مختبر العلوم الإدراكية، أن تنشيط شبكة ما سريع، وأن مجمل العصبونات تنشط في أقل من ٥٠ ميلثانية. وتتواصل شبكة مع شبكة أخرى مجاورة ليس بنقل مباشر لكمية معينة من السيالات العصبية وإنما بتزامن إيقاع السيالات بين هاتين الشبكتين. ويستخدم هذا التزامن إيقاعات مختلفة، أي ترددات مختلفة بحسب حجم الشبكات والزمن الضروري لنقل النشاط الإجمالي للشبكة.

لقد درس فريق ستانيسلاس ديهان Stanislas Dehaene، من وحدة التصوير الإدراكي العصبي في جيف-سور-إيفيت Gif-sur-Yvette[٧]، عمل الشبكات العصبونية، بعد نمذجة بيانات حصل عليها من تسجيلات كهربائية وتصوير وظيفي في آن معاً. وقد برهن الفريق على تزامن بعيد المدى للعصبونات يفسر "الوصول إلى الشعور". ويميز التزامن بعيد المدى بتردد مرتفع، أي أعلى من ٣٠ دورة/ ث، تفكيراً يتطلب انتباهاً مستمراً. ويطلق هذا الانتباه، بفعل تردد أضعف، تنشيط شبكة واسعة من الاتصالات التي تشارك فيها القشرة الجبهية الأمامية، والفص الجداري والقشرة الحزامية.

مشروع الدماغ الأزرق: نحو دماغ افتراضي

طرح فكرة هذا المشروع مدير مدرسة البوليتكنيك في لوزان باتريك آيبشر Patrick Aebischer، المتخصص في المعلوماتية، عندما قابل في عام ٢٠٠١ المتخصص في الفيزيولوجيا

---

(٧) (اسم هذه الوحدة بالفرنسية Unité de recherche en Neuroimagerie Cognitive (Unicog). وهي وحدة بحثية مشتركة بين المعهد الوطني للصحة والبحث الطبي Institut national de la santé et de la recherché (Inserm) médicale وجامعة باريس الجنوبية Université Paris-Sud أو باريس ١١ ومفوضية الطاقة الذرية والطاقات البديلة Le Commissariat à .l'énergie atomique et aux énergies alternatives (CEA) المترجم).

العصبية هنري ماركرام Henry Markram الذي درس كيف تتبادل العصبونات التيارات الكهربائية الضعيفة جداً، أي السيالات العصبية. وقد أطلق هذان العالمان مشروع الدماغ الأزرق، وهو تنشيط رقمي لعمل جميع عصبونات الدماغ. قدم باتريك آيبشر للمشروع حاسباً خارقاً هو كومبيوتر الجين الأزرق Blue Gene. يرى هذا المعلوماتي أنه بما أن الفيزيائيين طوروا مسرعهم للجزيئات، فإنه ينبغي أن يمتلك البيولوجيون منصتهم لتنشيط الكائن الحي. فكيف يعمل الباحثون مبدئياً؟

إنهم يعيدون تكوين الرسم البياني لنظام أسطوانة صغيرة جداً في الدماغ ولوصلاتها (أو لعمود من المادة الرمادية) بعد تشريحها. يتم تنبيه هذه الأسطوانة بمنفذ كهربائي، ويسجل الباحث استجابة كل عصبون من عشرة آلاف عصبون يتضمنها هذا العمود الصغير. تتم نمذجة النظام على الكومبيوتر بمجرد الحصول على آلاف التسجيلات. وينبغي أيضاً قبل تنبيه عمل الوصلات على كومبيوتر عملاق ملاحظة كيفية اتصال العصبونات بعضها ببعض بشكل مباشر. يبدأ قسم من المشروع هذا التحليل انطلاقاً من دماغ أقل تعقيداً من دماغ الإنسان، هو دماغ الفأر. وإن تم الانطلاق من عصبون واحد فذلك لأن عمله يمثل بالفعل دارة معقدة؛ إذ يستطيع الاتصال بحوالي ٥٠٠٠ عصبون آخر. تتلخص الفكرة إذن بملاحظة نظام عمود صغير من الخلايا، كما يمكن ملاحظته من خلال جزء صغير من القشرة، يتضمن خمس طبقات متراكبة من العصبونات. ويمكن عرض مسار الأسلاك التي تربط العصبونات في مثل هذا العمود الصغير الذي يبلغ قطره ٥ , ٠ ملم وطوله ٥ , ١ملم، والذي يحتوي مع ذلك على١٠ آلاف عصبون، من خلال ميكروسكوب واستخدام رواسم تعيد إنشاء كل الوصلات. ويستطيع الباحثون، بفضل إعادة تكوين ثلاثي الأبعاد للحجم الذي تم الحصول عليه انطلاقاً من حوالي ٥٠ مقطعاً من هذا العمود، ملاحظة كيفية نشوء الشبكات الرئيسة للوصلات. وتقوم المرحلة التالية على نمذجة تعقد العديد من السيالات العصبية، أي الذبذبات الكهربائية المتنوعة على مستوى العصبون، لأن ٢٠ نوعاً مختلفاً على الأقل من القنوات الإيونية الأشبه بقواطع التيار الصغيرة يمكن أن توقف أو تنشط نقل الإيونات على مستوى عصبون واحد. ويحاكي كومبيوتر أطلق عليه اسم نورون Neuron التفريغ الكهربائي المرسل بين العصبونات. ثم يقوم برنامج آخر سمي "البناء الأزرق" Blue Builder بإعادة إنشاء مختلف طبقات

العصبونات ووصلاتها بمحاكاة العمل المدمج لأكثر من ١٠ ملايين مشبك عصبي في حجم صغير من بضعة مليمترات مكعبة.

الكومبيوتر يعيد بناء الدماغ

يهدف كومبيوتر الجين الأزرق/ ل Blue Gene L الذي تم تصميمه في عام ٢٠٠٥ من أجل مشروع الدماغ الأزرق إلى نمذجة كل عصبون على أنه شريحة معلوماتية بسعة تخزين ٤ ميغابايت، أي قوة حسابية تعادل ٥ جيغافلوب. فإذا تمت نمذجة عصبونين متصلين يتم الحصول على ذاكرة تصل إلى ١ جيجابايت، أي بطاقة واحدة. ويمكن بعد ذلك جمع شبكة صغيرة تربط ١٦ بطاقة، أي ١٦ جيجا بايت. ويقوم رف rack بنسخ اتصالات ١٠٢٤ شبكة، أي ذاكرة ٥١٢ جيجابايت وقوة حسابية بحوالي ٥ تيرافلوب، أي ٥٠٠٠ جيغافلوب.

وأخيراً، يحاكي الكومبيوتر كله عمل ٦٤ رفاً، أي ٣٢ تيرابايت (٣٦٠ ألف جيغافلوب)، تمثل ما يعادل حوالي ٦٥ ألف عصبون متفاعل. وقد أدى تطور هذه الكومبيوترات في عام ٢٠٠٩ إلى نمذجة ما يعادل ٢٩٤ ألف عصبون متصل وقوة حسابية إجمالية تساوي ١مليون جيغافلوب، أي١ بتافلوب. وما زلنا بعيدين بما يكفي عن نمذجة دماغ كامل.

أتاح تقدم هذا المشروع في عام ٢٠٠٨ نمذجة آليات عمل عمود صغير من حوالي ١٠ آلاف عصبون، واستطاع الكومبيوتر في عام ٢٠١٣ محاكاة العمل المدمج لاتصال ٦٠ عموداً صغيراً، أي ما يعادل ٦٠٠ ألف عصبون. وما زلنا بعيدين عن نمذجة عمل دماغ فأر بأكمله، حيث يكون المقياس أكبر بـ ١٥٠ مرة، أو عن نمذجة دماغ إنسان يحتوي على ما يعادل ١٠ مليون عمود صغير. ويتمثل التحدي الكبير لعلماء البيولوجيا العصبية، في ما وراء نمذجة عمل السيال العصبي، في فهم عمل هذه الشبكة العملاقة: كيف يستخدم إنجاز مهمة ذهنية جزءاً محدداً من الشبكة ضمن شبكات الوصلات الممكنة؟ ما الألياف المستخدمة لربط عصبونات معينة؟ فهنا يكمن الكابوس الحقيقي بالنسبة إلى الباحثين، لأنه ينبغي جمع آلاف الملاحظات التي تم الحصول عليها انطلاقاً من التنشيط الأساسي للشبكات الذي تمت ملاحظته في شبكة في وضع الراحة، والعديد من ملاحظات التصوير بالرنين المغناطيسي الوظيفي التي تمت مقارنتها لدى عدد كبير من الأفراد الذين يقومون بالمهمة نفسها.

يوم خسر بطل العالم غاري كاسباروف مباراة شطرنج أمام الآلة

في عام ١٩٩٦ كان كومبيوتر IBM العملاق الذي أطلق عليه اسم "ديب بلو" Deep Blue يتضمن ٢٥٦ معالجاً مشتركاً خصص ٣٢ منها للحساب و٨ للشطرنج. فاز الكومبيوتر بمباراة الشطرنج الأولى ولكن كاسباروف Kasparov فاز بالمباريات الثلاث اللاحقة. وفي مايو ١٩٩٧ حصل الثأر في ٦ مباريات. فاز الحاسب بنتيجة ٣,٥ مقابل ٢,٥. كانت قوة حساب الكومبيوتر ١١جيغافلوب، أي ما يعادل تقريباً ١١ مليار عملية حسابية رقمية حقيقية في الثانية. كان الكومبيوتر ديب بلو يحسب بين ١٠ و٢٠٠ مليون حركة في الثانية. إن الكومبيوتر الشخصي الحالي مزود بسرعة حسابية تعادل ٣٠ جيغافلوب. وخلافاً للكومبيوتر، كان بوسع كاسباروف أن يتصور حركتين أو ثلاث حركات ممكنة في الثانية بإجراء خيار مدروس، بينما كان الكومبيوتر ينتج شبكة عملاقة من الوصلات بين المعالجات بتحليل الحركات الممكنة بسرعة عالية جداً.

ذكاء متعدد

لقد خُلق الإنسان ليتألق ويكتشف آفاقاً جديدة بشكل مستمر. والواقع أن الإنسان، كما أشار إلى ذلك إبيقور Épicure، موهوب بـ"حب الجديد"، وهو استعداد أو قدرة تدفع الدماغ لمعرفة الأشياء الجديدة والمجهولة. إن الذكاء البشري متعدد لأنه يستخدم قدرات ذهنية متكيفة لمواجهة المواقف. ولا يتلخص بحجم الدماغ أو بكمية العصبونات، على الرغم من أن عدد عصبونات دماغ الإنسان هو الأعلى مقارنة بكل الأنواع الأخرى، وإنما بنوعية شبكة العصبونات وقدراتها على انتظام عملها. وهكذا، كان الإغريق يميزون اللوغوس logos، أي الذكاء المجرد العقلاني والمنطقي، والفرونيزيس phronésis أي الحكمة والمهارة العملية، وأخيراً الميتيس métis أي الحيلة والحصافة الحذرة. وقد ميز مؤخراً هوارد غاردنر Howard Gardener، الأستاذ في جامعة هارفارد، تسعة أشكال من الاستعدادات الخاصة بالكائن البشري: الذكاء الرياضي المنطقي، والذكاء اللغوي، والذكاء الموسيقي، والذكاء البدني الحركي، والذكاء التفاعلي، والذكاء البصري والمكاني، والذكاء الذاتي، والذكاء الطبيعي، والذكاء الوجودي. مثالياً، ينبغي على كائن فائق الذكاء أن يمتلك جميع أنواع الذكاء، وهي حالة نادرة. فكل شكل من أشكال الذكاء يستخدم شبكة أو شبكات عدة من العصبونات المتصلة التي تمنح إجابة واحدة مثلى ومتكيفة مع الموقف المعني. ويرى المختصون في البيولوجيا الذين يسعون إلى تحديد الشبكة التي تنشط من أجل مهمة محددة أن الكشف عن دارات الذكاء ما يزال يشكل تحدياً.

تقدم الملاحظات التي سجلت منذ حوالي ٤٠ عاماً والتي تتعلق بوصف نتائج آفات الدماغ في فص محدد توضيحات موجزة حول وظيفة هذا الفص في عمل شبكة أكثر تعقيداً: ولكن ذلك ليس سوى جزء صغير من الجبل الجليدي. توضح حالات أشخاص عانوا من آفات مدمرة للقشرة الجبهية الحجاجية (منطقة صغيرة من الدماغ تشكل حافة تقع أمام الفص الجبهي وخلفه) نقصاً في قدراتهم على اتخاذ القرار: قدرتهم الذهنية "الإرادية" ناقصة أو ضعيفة جداً. إنه مرض خطير جداً: في بداية الأمر لا يستطيع الشخص، الذي تعرضت لديه قشرة الفص الجبهي الحجاجي للتلف، إدراك نتائج أفعاله. وحتى لو بدأ بفعل يؤدي إلى خطر أو على العكس من ذلك إلى حصوله على ملذة فإنه لا يستطيع استباق النتيجة. أما العلامة الثانية الملاحظة لدى هؤلاء الأشخاص فتكمن في عدم قدرتهم على الشعور بمشاعر الآخر، وبالتالي عدم القدرة على الحكم على الآخرين. إنهم أيضاً عرضة لسلوك غير مكبوت وعدائي وعنيف، وغير قادرين على تعديل سلوكهم الخاص، حتى لو كان خطيراً.

يعتبر ميكائيل روزنبلوم Mikael Rosenbloom، المختص في العلوم العصبية في جامعة مينيسوتا Minnesota، أن بعض المناطق تنشط بالضرورة من أجل كل عمل إرادي يتطلب اختيار سلوك ما حتى لو استخدم الدماغ عدة شبكات اتصالية من أجل التعبير عن الذكاء. وأكثر المناطق التماساً هي القشرة الأمامية الجبهية التي تضم: القشرة الجبهية الحجاجية، والقشرة الحزامية، والقشرة قبل الجبهية الظهرانية الجانبية، أي الحافة الواقعة خلف الجبهة. ويمكن لهذه المناطق الثلاث أن تتصل بمناطق أخرى من خلال تنشيط شبكات عن بعد، تشارك فيها على وجه الخصوص القشرة الجبهية الحجاجية، واللوزة والحصين. تقيم القشرة الجبهية الحجاجية النتيجة انفعالياً (إدراك متوقع لمكافأة أو عقاب)، وتدمج القشرة قبل الجبهية الظهرانية الجانبية معلومات متعددة مصدرها مختلف المناطق الحواسية (البصر، والسمع، والشم، إلخ.)، وتفرز القشرة الحزامية الخيارات الممكنة من جملة الخيارات التي تمثل مصادر للصراع وتقيم نتائج هذه الخيارات.

في عام ٢٠٠٠ وصف علماء آخرون حالة مهندس أجريت له عملية استئصال ورم حميد في سطح الفص الجبهي. وبعد العملية، أظهر عجزاً في حل المشكلات. ولوحظ لديه غياب التخطيط، وصعوبة في تصور إستراتيجيات لحل مشكلة، وصلابة نفسية، وصعوبات في الذاكرة العاملة.

وتمثل هذه العوارض ما يطلق عليه المختصون في العلوم العصبية "متلازمة عسر التنفيذ" syndrome dyséxecutif، المرتبطة بصعوبة تنظيم عمل عقلاني وتخطيطه. وأما الجزء الثالث من هذه الدارة، أي القشرة الحزامية الأمامية، فإنها تقع خلف القشرة الجبهية الظهرانية الجانبية. والواقع أن هذه المنطقة أساسية لربط الدماغ الانفعالي بالدماغ القراري. وأن تنشيطها يقرن انطباعاً انفعالياً بخيار قرار مزمع اتخاذه ومصوغ في القشرة الجبهية الحجاجية.

تنشط القشرة الحزامية بقوة عندما يصعب اتخاذ قرار ما، أو عندما تبقى نتيجة الخيار صراعاً بالنسبة إلى الدماغ بين إدراك متوقع لمكافأة أو إمكانية لخطأ. وتقيم القشرة الحزامية في نهاية المطاف فرصة نجاح القرار الذي تزمع القشرة الجبهية الظهرانية الجانبية اتخاذه قبل البدء في جواب سلوكي. يكمن أحد المظاهر اللامعقولة لهذا الذكاء الذي يسمى "بيشخصي" في القدرة على التعبير عن الرضا، والعزاء أو الأسف إزاء قرار اتخذناه، وبرر سلوكنا. ومن هذه الخيارات، يرتبط الأسف بالقدرة على التبرير بطريقة تقديريّة باستباق نتائج خيار معاكس للخيار الذي نتمنى تبنيه. ما الذي سيحدث إن اتخذت هذا الخيار أو خياراً معاكساً؟

ترى ناتالي كاميل Nathalie Camille، عالمة النفس في معهد العلوم المعرفية في مدينة ليون الفرنسية، أن هذا الاستعداد للتخطيط لعدة نتائج سلوكية يرتبط ارتباطاً قوياً بشبكة عصبونية بين القشرة الجبهية الحجاجية، والقشرة الجبهية الظهرانية الجانبية واللوزة المسؤولة عن إطلاق هرمونات تنتج العاطفة. وبطريقة سريعة جداً، تقيم الذاكرة العاملة مختلف الخيارات التي نزمع على اتخاذها، وتنشط هذه الدارة التي تعيد إدراك الحدة الانفعالية التي يمكن أن نشعر بها إن اخترنا هذا القرار أو ذاك في تبني السلوك النهائي. وهذه الشبكات التي تتصل بقوة فيما بينها، والتي تستخدم الفص قبل الجبهي هي موضوع العديد من الدراسات باستعمال التصوير بالرنين المغناطيسي، وأحد مفاتيح الابتكار الذي يقوم به الذكاء البشري.

دماغ الخير والشر

خطرت لفريق جيمس أودو هيرتي James O'Doherty، من جامعة أوكسفورد، فكرة دراسة تنشيط الفص قبل الجبهي لدى أشخاص يستعدون لإحدى الألعاب اللوحية حيث كان بإمكانهم، كما في لعبة مونوبولي Monopoly (بنك الحظ)، توجيه خياراتهم مع المخاطرة بربح المال أو خسارته. واكتشفوا بعد ملاحظة كل موقف من مواقف تنشيط الدماغ باستعمال جهاز للتصوير بالرنين المغنطيسي أن الجزء المتوسط من القشرة قبل الجبهية ينشط بفعل إدراك المكافأة، في حين أن الجزء الجانبي منها ينشط عند إدراك نتيجة سلبية، أي العقوبة.

ليس الذكاء سوى أحد مظاهر قدراتنا الذهنية. يذكر بذلك الشاعر الفرنسي بودلير Buadelaire حينما يقول: "إن ملكة القوى العقلية ليست الذكاء وإنما التخيل".(٨) وتجدر مع ذلك ملاحظة أن العديد من الشبكات العصبونية المسؤولة عن قدرة الإنسان على التكيف مع بيئته تقع في الفص الجبهي، وهو المنطقة الدماغية الأكثر تطوراً منذ ظهور الرئيسات. ويرتبط الدماغ "القراري" ارتباطاً قويا مع ذلك بالدماغ الانفعالي وبدماغ التنبيه. وفضلاً عن ذلك، يعدل هرمونان رئيسان عمل هذه الشبكات: الدوبامين والسيروتونين. ويطور الدماغ قدرات أخرى ضرورية للبقاء للتكيف بأفضل شكل مع ظروف الحياة، ومع تطور اجتماعية النوع البشري: الرغبة في الحياة، والتقمص العاطفي، والصبر.

---

(٨) (Charles Baudelaire, *Curiosités esthétiques*, 1868).

الفصل الخامس

رغبة في العيش، وتقمص وجداني، وصبر

"يمكننا أن ندرك أنه كلما زاد تطور قدراتنا الفكرية، كان على مختلف أجزاء الدماغ أن تكون في علاقات تواصلية أكثر تعقيداً، وأنه ينبغي، نتيجة لذلك، أن ينزع كل جزء متميز لأن يصبح أقل قدرة على الاستجابة بطريقة محددة ووراثية، أي فطرية، لأحاسيس خاصة".

شارل دارون Charles Darwin، *أصل الإنسان*

الفص قبل الجبهي، ترفٌ في دماغ الإنسان

يملك دماغ الإنسان قدرة خاصة على إدراك بيئته بواسطة خمس قدرات عقلية تميز الإنسان من بقية الأنواع: الذكاء، واللغة، والتخيل، والإبداع، والاستعداد للاعتقاد بالسحر وبالملائكة أو بالآلهة. يرى المختص في البيولوجيا العصبية في بالتيمور مارك ماتسون Mark Mattson أن هذه القدرات لا ترتبط فقط بدرجة الاتصالية العالية لمختلف مناطق الدماغ، وإنما أيضاً بتطور متخصص جداً لقشرة الدماغ. ويلاحظ تطور مهم لمساحة القشرة الجبهية التي تشغل أقل من ١٥٪ من القشرة كلها من الثدييات الصغيرة حتى الرئيسات. وقد استمر هذا التطور لدى الإنسان كما يظهر من المساحة المهمة للمنطقة ١٠ من القشرة قبل الجبهية المسؤولة عن التفكير، واتخاذ القرار، والتخطيط للأفعال. تشغل هذه المنطقة ٢٥ سم٢ لدى الإنسان (١,٢٪ من إجمالي مساحة القشرة)، أي أكثر من ١٠ أضعاف لدى الشمبانزي الذي يملك دماغاً أصغر بأربع مرات. وبالطبع، إن القشرة قبل الجبهية لا تعمل بشكل منعزل، وتستفيد من الوصلات العديدة مع الدماغ العاطفي والفصين الصدغي

والجداري المسؤولين عن دمج معطيات حواسية عدة (السمع، النظر، إلخ). وتتكيف القدرات المعرفية لدماغ الإنسان مع التطور الخاص بنوعه، ولا تنتج عن جمع هذه القدرات المعرفية لكل أنواع الحيوانات. وهكذا، تملك العديد من الطيور المهاجرة دارات عصبونية متكيفة كلياً مع الملاحة، وهي تشبه نظاماً عالمياً لتحديد المواقع GPS في غاية التعقيد؛ بينما تُطور طيور أو ثدييات أخرى قدرات مجهزة للتواصل (الغناء، قائمة بالأصوات، إلخ) مقترنة بقدرة عالية على الحفظ. وإنه لمن الواضح أن تطور رؤية ثلاثة ألوان رئيسة، والوقوف على القدمين، وظهور اللغة المنطوقة لدى الإنسان أمور أسهمت إسهاماً قوياً في إنشاء شبكات عصبونية جديدة تلتقي معلوماتها في عقدة كثيفة من الوصلات تقع في الفص قبل الجبهي المسؤول عن "اتخاذ القرار".

عندما نقارن قشرة دماغ الرئيسات وقشرة دماغ الإنسان نلاحظ اختلافات قليلة في النظام. وإن كانت قدرات التعلم والحفظ والترميز متشابهة، فإن دماغ الإنسان قادر مع ذلك على استخدام معلومات حفظها لتكوين صور جديدة، وأصوات، وأبنية ذهنية أخرى بسبب قدرته على التخيل والاختراع. ونختار التوقف، من بين التعريفات العديدة للذكاء البشري، عند تعريف عالمة النفس الأمريكية ليندا غوتفردسون Linda Gottfredson: "كفاءة ذهنية عامة تنطوي، من جملة أمور أخرى، على قدرات على التفكير، والتخطيط، وحل المشكلات، والتفكير المجرد، وإدراك الأفكار المعقدة، والتعلم بسرعة، والاحتفاظ بالمعرفة الناتجة عن الخبرة"[1]. وتملك العديد من الحيوانات بعض قدرات الذكاء البشري، ولكن الإنسان يدمجها بشكل أفضل. تشير الملاحظات الدقيقة لدماغ الإنسان إلى أن الذكاء نتيجة عدد مرتفع جداً من العصبونات والوصلات وكذا النظام المعقد جداً لشبكات العصبونات، لا سيما شبكات القشرة الجبهية.

إن أحد عناصر تطور الإنسان الذي أسهم في زيادة حجم الدماغ هو الانتصاب على قدمين، والقدرة على الجري أو الانتقال إلى مسافات بعيدة. وتوافق مناطق الدماغ التي تشمل تمييز الأصوات والإشارات وترميزها في لغة قابلة للتطور توسع حجم بعض مناطق الدماغ القريبة من المناطق المسؤولة عن الحركة.

---

(١) *Intelligence*, N° 24, pp.13-23.

كان نشاط البشريات البدني إذن منشطاً بارزاً لتطور شبكات العصبونات ووصلاتها. وإن هذه الظاهرة التي تمت البرهنة عليها والتي تسمى تخلق النسيج العصبي، نشيطة جداً حتى عمر متقدم، وتوجد في الحصين. فالجري والنشاط البدني يحسنان المزاج، وينبهان القدرات المعرفية والحواسية. وإن تبني إيقاع يومي لدى أجداد البشريات، يناوب المشي أو الجري وتناول الوجبات، كيّف بقوة إيقاع إفراز النواقل العصبية الأساسية في تخلق النسيج العصبي وتنظيمه، مثل الأدرينالين، والكورتيزول، والسيروتونين(٢) والنوروتروفينات(٣) أو عوامل التغذية العصبية .

ينطوي الذكاء أيضاً على القدرة على دمج معلومات عدة، وعلى اتخاذ قرار متوافق (مع الظروف). ولذلك، يستخدم الدماغ بين الحصين والفص الجبهي شبكة من الوصلات المعقدة جداً تفسر قدرات الذاكرة العاملة، واتخاذ القرار السريع، وتوقع فعل قادم. ويلاحظ عند مقارنة الفص قبل الجبهي لدى الإنسان والقرد الآسيوي أن هذا الفص اكتسب زيادة في الحجم في عرض الجبين، وأنه طور مزيداً من الوصلات مع القشرة الحزامية (دماغ الانفعالات) والقشرة الجدارية (منطقة اللغة والتجريد). ويبدو أن المناطق الجانبية من الفص قبل الجبهي أتاحت تطور هذه القدرة على تقييم الحسنات والسيئات أثناء اتخاذ القرار. وأتاحت قدرة الدماغ هذه للإنسان فهم قيمة الاختيار وإدراكه، وبالتالي إدراك التعارض بين قرارين محتملين.

القشرة الحزامية: من التعارض إلى الانفعال

يستخدم الفص قبل الجبهي إذن من أجل تبرير قراره وصلة مع القشرة الحزامية بهدف تقييم إيجابيات القرار المزمع اتخاذه وسلبياته. ثم تقرر القشرة المكافأة أو السرور الذي يصاحب هذا

---

(٢) (مادة عضوية تفرزها بعض خلايا الجسم في الجهاز الهضمي والطحال، فيعمل كمرسال عصبي ينبه القلب والشرايين والعضلات، وينظم انتقال التنبيه من عصبون لآخر. وله علاقة بالاضطرابات العصبية والنفسية المختلفة. المترجم).

(٣) (النوروتروفينات أو عوامل التغذية العصبية هي عائلة من البروتينات التي تحفز بقاء عمل العصبونات وتطوره. وهي تنتمي إلى صنف من عوامل النمو هو البروتينات المفرزة التي تكون قادرة على إيصال الإشارة إلى خلايا معينة لتحفزها على البقاء والتمايز أو النمو. المترجم).

القرار، وتقيم اللوزة أخيراً الخطر الذي تم تكبده ونتائجه. إن القشرة الجبهية الحجاجية هي التي تسأل اللوزة والقشرة الحوفية لتقييم المخاطرة على أنها سرور/ أو خطر. يعتمد الجزء الخلفي من القشرة قبل الجبهية على المعلومات لإصدار أمر بالقرار بعد تقييم المخاطرة التي تم تكبدها و/ أو السرور الذي تم الشعور به، ويقترح خطة للعمل. ومع ذلك، تمر المعلومات في نهاية المطاف عبر القشرة الحزامية. تقيم القشرة الحزامية فرص نجاح خطة العمل المقترحة قبل نقل الأمر إلى القشرة الحركية، عبر النويات الرمادية، وهي العصبونات المتجمعة والواقعة تحت القشرة.

ومع ذلك، نقوم أحياناً بأفعال من دون التفكير كلياً بالنتائج. تقوم القشرة قبل الجبهية الظهرانية عندئذ بإصدار أوامرها بتجاوز القشرة الحزامية. وهذا ما يلاحظ بشكل عام في السلوكيات القهرية، والاستحواذية أو الإدمانية.

التفكير قبل التصرف: القشرة الحزامية

إن هذه المنطقة الصغيرة من الدماغ، الواقعة خلف الفص الجبهي والقريبة جداً من الدماغ الانفعالي، قادرة على التأثير في اتخاذ القرار فتقوم بتقييم واكتشاف الأخطاء والصراعات التي يمكن أن تحدث فجأة بين استجابات عدة. ترى هيلين أولا Hélène Ollat، طبيبة الجهاز العصبي، أن هذه المنطقة من الدماغ تشير للفرد أن الأحداث الناتجة عن فعل ما أكثر سوءاً من الأحداث المتوقعة، وأنه ينبغي تغيير الإستراتيجية في المواقف اللاحقة المماثلة[٤].

تشارك القشرة الحزامية التي ثبت أنها وظيفية لدى القرود في اختيار القرار ليس وفقاً للتجارب الماضية فحسب، بل أيضاً وفقاً للنتائج المتوقعة. فهي تكتشف الصراعات المحتملة وتخطر القشرة قبل الجبهية بإظهار الحذر في اتخاذ القرار، وباختصار، بالتفكير قبل التصرف.

أثبتت العديد من الدراسات باستخدام التصوير أن القشرة الحزامية أكثر نشاطاً في حالات الصراع، حتى لو كانت استجابات الأفراد الذين خضعوا لاختبار سليمة. يرى عالما النفس كلاي هولرويد Clay Holroyd ومايكل كولس Michael Coles، أن هذه المنطقة أكثر نشاطاً أثناء الأخطاء، والبدائل بين عدة استجابات محتملة، أو عندما لا تأتي المكافأة. ففي هذه الحالات الثلاث، تكون

---

(٤) *Neuropsychiatrie. Tendances et débats*, 2005, 26, p. 15-21.

الأحداث أسوأ مما هو متوقع. تُخطر إشارة بالخطأ عندئذ القشرة قبل الجبهية بضرورة تغيير الإستراتيجية في القرار المراد اتخاذه. والواقع أن منطقتين من القشرة الحزامية تشتركان في المسؤولية.

المنطقة الأمامية مسؤولة عن التفاعل مع الفص قبل الجبهي: إنها تنظم دوافعنا، وتحفز حواسنا في مواجهة مهمة تتطلب انتباهاً مستمراً، واكتشافاً سريعاً لأخطائنا، وتوقعاً لأفعالنا من أجل تنفيذ مهمات قادمة.

أما المنطقة الخلفية فهي متصلة مباشرة باللوزة (تنبيه)، وبالجزيرة (السرور) وبالنواة المتكئة (الرغبة)، وبالحصين (الإحساس بالانفعال). وهي المنطقة التي تجعلنا نشعر بسرعة بالانفعال المقترن بالتصرف الذي قررنا القيام به قبل انطلاقه. ويمكن أن تدخل هاتان المنطقتان في صراع لأن الشعور بالانفعال يمكن أن يوقف أي قرار (يطابق سلوكاً معروفاً أو متخيلاً لمجرد استباق للخطر المتوقع) اتخذته القشرة الجبهية: "نادراً ما يتغلب العقل على المتخيل، ولكن العكس مألوف".

التقمص الوجداني: مفتاح العلاقة

لقد تكيَّفَ الإنسان أثناء التطور مع حياة الجماعة، ومن ثم مع التنشئة الاجتماعية. وكانت الميزات حاسمة في بقاء البشريات وتطورها منذ أكثر من ٣٠٠ ألف سنة، بحصولها على أفضل حماية في مواجهة المهاجمين، وبتحفيز تبادل الخبرة، وهو تبادل سهله أيضاً ظهور اللغة. فهذه القدرة التي سبق أن وصفها داروين تمت دراستها دراسة مستفيضة لدى الحيوانات. وقد شدد وليام ماكدوغال William Mc Dougall، عالم النفس البريطاني، على هذا الشكل من التقمص الوجداني الذي ظهر لدى الحيوانات التي تملك غريزة التجمع، والتي تتأثر بشكل فطري بانفعالات أمثالها: "إنها أشبه بلحمة تربط الحيوانات معاً وتجعل تصرفاتها متسقة، فتتيح لها الحصول على ميزات الحياة الاجتماعية"(٥).

في الواقع، انتقت حياة الجماعة ظهور قوتين عقليتين جديدتين أساسيتين للإنسان: العقلنة أو نظرية العقل والتقمص الوجداني. تكمن القدرة على العقلنة في الاستعداد لتصور مقاصد الآخرين ومواقفهم، وبالتالي لفهمهم فهماً أفضل، وتوقع سلوكهم. ويبدو هذا الاستعداد مكتسباً لدى الطفل

(٥) W. McDougall, *An Introducton to Social Psychologie*, Methuen & Co. Ltd., 1919.

في عمر ٥ سنوات. وهو الذي يتعرض لاضطراب قوي لدى الانطوائيين فيحد من قدرتهم على التواصل. أما التقمص الوجداني فهو القدرة على مشاركة انفعال الآخر من دون توسط مثير مباشر. ويمكن أن ينطلق في جميع حالات الانفعال الأساسية مثل الخوف، والحزن، والغضب، والنفور، والمفاجأة. وهو ضروري لإقامة علاقات عاطفية مع الآخرين لأنه يحفز السلوك الغيري، ويتجنب الصراع المباشر مع المجهولين من أمثالنا. وهو مدمج بالسلوكيات المقترنة بكل نمط للعلاقة الاجتماعية، سواء كانت عائلية أو ودية أو غرامية.

العصبونات المرآتية من أجل الشعور بانفعالات الآخر

لوحظ وجود العصبونات المرآتية التي اكتشفها في عام ١٩٢٢ جياكومو ريزولاتي Giacomo Rizzolati، عالم الأعصاب الإيطالي، لدى القرد بإظهار كيف أن منطقة الدماغ المسؤولة عن القوة المحركة الإرادية كانت تنشط عندما كان القرد يلاحظ حركة قرد آخر. ينسخ دماغ الملاحظ الحركة بتنشيط عصبوناته المرآتية، ولكن من دون تنفيذ الحركة التي تمت ملاحظتها. وبرهن علماء البيولوجيا العصبية بعدئذ على أن دور هذه العصبونات المرآتية يشمل الدماغ الانفعالي. والواقع أن الجزيرة والقشرة الحزامية تنشطان بالطريقة نفسها عندما يشعر فرد بانفعال استجابة لمثير، أو عندما يكون شاهداً على انفعال مطابق شعر به شخص آخر.

لقد طرح العديد من الباحثين مسألة أصل هذه العصبونات المرآتية. ترى سيسيليا هيز Cecilia Heyes، عالمة النفس في جامعة أكسفورد، أنها تولد أثناء تطور المراقبة البصرية الحركية. فالفعل المحرك لالتقاط شيء متصل اتصالاً قوياً بنشاط العصبونات البصرية التي تتبع تنفيذ الحركة. وقد امتدت خاصية العصبونات هذه المتمثلة في تطوير وصلات قوية للدماغ الانفعالي والذاكرة.

أتاحت ملاحظات مختلفة بالتصوير بالرنين المغناطيسي الوظيفي لدى الإنسان منذ عشرة أعوام خلت تحديد موضع مناطق الدماغ التي تنشط أثناء التعبير عن التقمص الوجداني. يتعلق الأمر، بحسب نمط الانفعال الذي تم الشعور به، بالقشرة الحسية، والجزيرة أو القشرة الحزامية، أي بمنطقة الدماغ الاجتماعي والانفعالي كلها.

التقمص الوجداني: قدرة عقلية من أجل الحياة في المجتمع. تتغير الانفعالات الإيجابية التي تتلون بتأثير مختلف النواقل العصبية بالذاكرة وبالتجربة الشخصية قبل أن يفسرها الدماغ الانفعالي الذي يُقَيِّمها على أنها خير أو شر (أي مكافأة أو عقاباً). وهكذا، ليس التقمص الوجداني الأولي

سوى شكل من العدوى الانفعالية التي تلاحظ بسهولة في حضانة حيث ينام أطفال عدة في الغرفة نفسها. فإذا أخذ أحدهم يصرخ قلده الآخرون بسرعة. وتلاحظ الظاهرة نفسها على نطاق واسع لدى الثدييات أثناء انفعال يولد الخوف أو الهلع.

يقع المستوى الثاني من التقمص الوجداني في القشرة الحوفية، وهو لا إرادي. ويقوم على القدرة الفطرية على حفظ حالات الخوف والتنبيه، بهدف إطلاق الانفعال نفسه بسرعة كبيرة عندما تتكرر حالة مثيرة مطابقة. فالوصلات بين القشرة الجبهية والدماغ الحوفي تُسهل إضفاء الطابع الاجتماعي على التقمص الوجداني، وهو ميزة السلوك الإنساني.

تعبر معظم الثدييات عن تقمص وجداني لا إرادي على شكل انفعال مشترك وعدوى انفعالية، وتُسهل هذه القدرة، المرتبطة بالتعبير عن الانفعالات ومشاركتها، الحياة في الجماعة بتطوير التفاعل بين الأفراد. لقد حتم تطور القشرة الجبهية لدى الإنسان والقدرات على فهم الحالات العقلية المقترنة بالقدرة على الشعور بالذات تطور ودرجة التعقيد العالية للتقمص الوجداني البشري الذي يمكن وصفه بالتقمص الوجداني المعرفي.

تترجم هذه القدرة العقلية بالحرارة الإنسانية، والتعاطف، والشفقة تجاه الآخرين. وهي مرتبطة بالتطور الهائل للقشرة الجبهية التي تتفاعل مع الدماغ الانفعالي، والتي تخلط الانفعالات الأولية بالذاكرة الفردية، والتفكير، والإبداعية، والذكاء الانفعالي، والشعور بالذات. لقد طورت تغيرات تنشيط دارات الإجهاد وظهور شبكات عصبية تم تنشيطها بالأوسيتوسين، الذي يحد من آثار الفازوبرسين vasopressine [٦] المسؤول عن العدائية والحماية الفردية، سلوكيات المشاركة هذه. وقد اغتنى هذا التقمص الوجداني بعد ذلك من خلال التعبير عن العواطف الاجتماعية مثل الطمع والشفقة واللعب والهلع والحزن.

---

(٦) (هرمون ببتيدي تشكله الغدة النخامية الخلفية وله تأثير رافع لضغط الدم. يستعمل مضاداً لإدرار البول. يسمى أيضاً الهرمون المضاد لإدرار البول antidiuretique hormone ويختصر ب ADH. المترجم).

الرغبة في الحياة والسعادة: مفتاحان للاستمرار

يشغل البحث عن السعادة أكثرنا، وبشكل مستمر. يمكن الإحساس بهذا الشعور بأنه سعادة فورية وزائلة، تقترن عندئذ بالسرور الذي وصفه أرسطو تحت اسم hédonie[٧] الذي ينبغي تمييزه من الشعور بالسعادة الأكثر شمولاً الذي نحس به على المدى البعيد، والذي يسمى السعادة eudaimonie. فعندما نسأل الأفراد لمعرفة تقييمهم للسعادة، يجب أن نضيف إلى هذا الخليط الدقيق من السرور والسعادة انطباعاً بالتزام بتنظيم الحياة الخاصة. لقد سبق أن كانت البيولوجيا العصبية للسرور موضوع العديد من الملاحظات لدى دارون Darwin الذي اقترح اعتبار الانفعالات وردود الأفعال العاطفية استجابة تكيُّف مع مثيرات البيئة. وهكذا، تتشابه ردود الأفعال العاطفية لدى الإنسان والثدييات، فقد حُفظت وانتقلت طوال التطور.

توافق دارات العصبونات المسؤولة عن الشعور العاطفي بالمسرات البسيطة (الطعام، والشراب) الانفعالات المرتبطة بالمسرات الأكثر تعقيداً (استماع أغنية، مشاهدة فيلم سينمائي، إلخ.). وهناك دارة حقيقية للسرور ليست مجرد نتيجة بناء فكري وإنما تعبيراً عن تنشيط شبكات عصبونية متخصصة في إنتاج السرور. وما يلفت النظر أن الدماغ يحتوي على مناطق صغيرة متناثرة في شبكاته، بحجم رأس الإبرة، والتي تنتج إثارتها كهربائياً شعوراً خاصاً جداً بالسرور، مثل الطعم الحلو، والحرارة، والموسيقى الممتعة، وصورة شاطئ استوائي، وصورة امرأة جميلة، أو رجل وسيم، وطعم الشوكولا، ونشوة الجماع، إلخ. إن هذه "النقاط الحارة" للدارات العصبونية موزعة في مختلف مناطق القشرة الجبهية والقشرة الحوفية. وفضلاً عن ذلك، إن القشرة الجبهية الحجاجية منظمة لدرجة أن العصبونات المسؤولة عن تقييم انفعال ما (هذا جيد أو سيئ) تقع في مركزها، في حين أن إشارات الخطر والنفور الصريح تأتي من العصبونات الواقعة جانبياً. وبالمثل، تنشط نحو خلف هذه المنطقة

---

(٧) (اللفظ hédonisme (مذهب اللذة) مشتق من اللفظ اليوناني hêdonê. واللذة عند اليونانيين، مدرجة في الانفعالات أي في الحالات غير الإرادية ولهذا فهي في مقابل الفعل. إلا أن آراءهم تباينت إزاء طبيعة اللذة. أما اللفظ Eudémonisme (مذهب السعادة) فهو مأخوذ من اللفظ اليوناني Eudaïmoa وهو مكون من مقطعين daïmon: بمعنى الروح وeu بمعنى الخير. والمقطعان معاً يعنيان الحالة التي تكون عليها الروح في وضع الملائم المستقر. انظر: مراد وهبة، المعجم *الفلسفي*، دار قباء الحديثة، القاهرة، ٢٠١١، ص٣٤٨-٣٤٩ و ٥٤٠. المترجم).

العصبونات المسؤولة عن الشعور بالمسرات الأساسية (الجوع، والعطش)، وتقع نحو أمامها العصبونات المسؤولة عن الشعور بالمسرات الأكثر تعقيداً (الربح في اليانصيب، والسكن في منزل باذخ، إلخ.). ونكتشف هنا تطور دارات المسرات التي تتكيف تقريباً مع التنشئة الاجتماعية للإنسان. ويعتقد بعض علماء البيولوجيا العصبية بوجود منطقة (الجسم الشاحب pallidum) يقلل تنشطيها، لا بل يلغي، الإحساس بالسرور. أخيراً، للحصول على تقييم شعوري ومفسر للشعور بالسرور، يوصل الدماغ دارات السرور هذه بشبكات القشرة الجبهية المسؤولة عن السلوك الإرادي، والمحاكمة العقلية، وتصور الذات التي تحرض العصبونات المرآتية. إن هدف هذه الوصلات هو نقل نتيجة الشعور بالمسرات إلى شعورنا، من أجل تقييمها من جديد، وحفظها أيضاً.

أثبت أنطونيو داماسيو، المختص في الجهاز العصبي في جامعة كاليفورنيا، بفضل التصوير، أن تذكر ذكرى مقترنة بمثل هذه المشاعر يوافق ليس فقط تنشيطاً للقشرة الجبهية، وإنما أيضاً مناطق من القشرة الحوفية، والوطاء، والمهاد، فربط بذلك مباشرة بين السلوكيات الغريزية وتوازن وظائفنا البدنية. فهذه الحاجات الحيوية والأساسية، وهي مصدر للسرور الفوري، متجذرة بقوة في دارات الدماغ الحوفي البشري، كما هو الحال أيضاً لدى العديد من الثدييات. ويمثل الدماغ الحوفي نوعاً من دماغ "حشوي" يركز على الانفعالات البسيطة مثل الجوع، والعطش والخوف... قبل إرسالها إلى القشرة قبل الجبهية التي تفسرها، وتفرزها، وتقيمها، وتمنحها على وجه الخصوص قيمة، أي انطباعاً عاماً وحدة شعورية مضافة تحول شعوراً بسيطاً إلى شعور حقيقي يمكن إبداء الرأي فيه، ورفضه أو حفظه.

يملك الدماغ، بعيداً عن هذه المناطق التي تنشط الشعور بالسرور الفوري، دارة تشرك على وجه الخصوص جذع الدماغ والقشرة الحوفية، وهما مقر تحريضات قوية على تبني سلوك شهواني. إن دارة الشهوة-السرور هذه تستخدم مفتاحاً كيميائياً أساسياً للسلوك البشري: الدوبامين. يعتبر كنت بريدج Kent Berridge، أستاذ علم النفس والعلوم العصبية في جامعة ميشيغان، أن التوازن بين الشهوة والسرور مفتاح السعادة، بمعنى السلم أو التوازن الداخليين. فالسعادة بذاتها قد توافق هذا الانطباع العقلي القائم على التقييم الإيجابي لأحداث الحياة من دون أن نضيف إليها نزوة أو تطلباً، أي أنها حالة من السرور المعتدل والدائم من دون الإفراط في الرغبة.

ومع ذلك، ما يزال من الصعب فهم عمل شبكات العصبونات التي تُعزى لهذه الحالات العقلية. وإننا نعلم مع ذلك أن السرور والسعادة شعوران يرتبط أحدهما بالآخر، لأن انعدام الشعور بالسرور أو انعدام التلذذ anhédonie يشكل عقبة رئيسة في وجه الشعور بالسعادة.

الترغيب في الرغبة: الدوبامين

أدت دراسات عدة لآفات جذع الدماغ الذي يحتوي على عصبونات تنتج الدوبامين إلى تفسيرات خاطئة أحياناً، لا سيما لدى القوارض. يوقف نقص الدوبامين الفعل المحرك، ولكن ما تأثيره الدقيق؟ هل نريد أن نتحرك ولا نتمكن من ذلك، أم هل نستطيع التحرك ولكننا لا نرغب في ذلك؟ ما يزال يصعب على علماء البيولوجيا العصبية شرح الدور الحقيقي للدوبامين. يبدو مع ذلك مثبتاً أنه يمارس دوره المحرض على السرور الذي نجده بالحصول على مكافأة نرغب فيها بدلاً من أن ننتظرها. وهكذا، إن الدوبامين ناقل للرغبة وليس للسرور. وبهذا المعنى، إنه يمارس دوره في مناطق مختلفة من الدماغ بالتحكم بكل السلوكيات الناتجة عن التحريض، لا سيما عندما يطلق هذا التحريض مثيرات داخلية تحدث خللاً بدنياً (الجوع، والعطش، والخوف) أو مثيرات خارجية تثير أحاسيسنا الحواسية. يمارس الدوبامين في نهاية المطاف دوراً مزدوجاً معقداً فيُحرض ويُبرر ويُسهل انطلاق كل فعل إرادي. وهو مسؤول عن التعلم والحفظ وتخزين كل نمط من السلوك الذي يبرره هدف ما.

يمكن أن تتغير دارات دماغية بالتأثير المقوي لفعالية ثلاثة مفاتيح كيميائية للدماغ: النورادرينالين والسيروتونين والأناناداميد. وإذا كان الدوبامين ضرورياً لكل سلوك يحتاج إلى دافع، فإن النورادرينالين يستخدم على وجه الخصوص لتغيير الدارات المسؤولة عن الذاكرة، والتصور الشعوري للبيئة والسرور. ويَستخدم الدماغ تحت تأثير هذين المثيرين النفسيين الطبيعيين، أي الدوبامين والنورادرينالين، قدرة جوهرية: الذاكرة العاملة والتفكير، اللذين يقعان في القشرة قبل الجبهية. والواقع أنه إذا كان إطلاق مفتاحي التنشيط هذين يتم بكميات ضئيلة فإن إثارة السلوك يبقى تحت المراقبة: يسيطر الإنسان على سلوكه. والمقابل، إن جرعة قوية أو إفراطاً في إطلاق النورادرينالين في حالة إجهاد حاد ترتبط بإثارة خارجية غير متوقعة يؤدي إلى كبح دارة الذاكرة العاملة، وتنشيط هذين المفتاحين الكيميائيين لدارة الانفعالات، الأمر الذي يعزز حفظ الشعور المرتبط بالحادثة التي عانى منها الشخص. فالـتأثير المفرط لهذين المثيرين النفسيين الطبيعيين الذي

يسهله الإجهاد في هذه الحالة يسمح باستخدام سلوك نجاة سريع جداً يتجاوز الإرادة والمحاكمة العقلية فلا يترك مجالاً لإدراك إن كان الفعل خَيِّراً أو خطيراً: التراجع لأنه ينبغي التخلص من الأمر بأسرع ما يمكن.

إذا ظهر أن الشعور بالسرور الآني والسعادة مشوشان في دارات مشتركة، فإنهما يرتبطان ارتباطاً قوياً بتأثير مفاتيح كيميائية تغير تأثيراتها. وهكذا، يعبر الأشخاص الذين يحسون بسهولة بشعور إيجابي أثناء حادثة سارة عن شعور ذاتي قوي بالسعادة. وبعبارة أخرى، تؤثر تجارب الشعور بالمسرات الآنية في مستوى الشعور الذهني للسعادة على المدى البعيد: نتكلم عندئذ على تأثير تصاعدي، أي أن المناطق التي تم تنشيطها بالسرور تعدل الشعور الإدراكي العام للفرد. يعتبر علماء نفس آخرون أن الأمر يتعلق، على العكس من ذلك، بآلية تنازلية. ففي هذه الحالة يملك الأفراد استعداداً فطرياً للتفاؤل، محفور في شعورهم، وهو ما يؤثر في مستوى الشعور بالمسرات اليومية الصغيرة. ويبدو أن النظامين يستطيعان العمل بشكل متزامن. فنشاط الناقل الدماغي للسيروتونين يؤثر في هذا الاستعداد للتفاؤل، مثلما يؤثر مفتاح كيميائي آخر: الأنانداميد.

يتم إنتاج بروتين نقل السيروتونين في الدماغ بكمية متغيرة بحسب الأشخاص. وثمة نوعان جينيان من هذا الناقل يسميان L و S، ويثيران تفاعلية انفعالية مختلفة بحسب الأشخاص. والنوع L أكثر فعالية بثلاث مرات في إطلاق السيروتونين من النوع S، فالمتفائلون عفوياً أكثر عدداً في امتلاك هذا النوع. وهكذا، أثبتت دراسات عدة أن النوع L يجعل مزاجنا أكثر مقاومة لحالات الإجهاد العاطفي. فتحمل الانفعالات السلبية لدى الأشخاص الذين يملكون هذا النوع أكثر سهولة. وفضلاً عن ذلك، إنهم يتحملون بسهولة أكبر الإجهاد اليومي، وهم أقل قلقاً. وهناك مفتاح كيميائي آخر يتم إنتاجه في الدماغ، ومسؤول عن تنظيم الشهية والإحساس بالسرور، وهو الأنانداميد الذي يؤثر تأثيراً منشطاً في الشعور بالانفعالات.

جينات السعادة

يلاحظ الاستعداد الطبيعي للتعبير عن التفاؤل أو التشاؤم لدى الكثير من الأشخاص. كيف يُبنى هذا الاستعداد؟ يشرح علم الوراثة أن بعض الجينات تساهم في تشكيل هذا الاستعداد. ما نتيجة ذلك بالنسبة إلى السعادة؟ إذا تمكن هذا الشعور من التعبير بإحساس ذاتي بالهناء، حالي أو آت، فإن جينين على الأقل، هما ناقل السيروتونين ومستقبل الكانابينويدات (٨)، يمكن أن يؤخذا بعين الاعتبار. في عام ٢٠٠٢، لاحظ فريق دانييل فاينبرجر Daniel Weinberger، في بيثيسدا Bethesda، تأثير الجين الناقل للسيروتونين في القدرة على تهدئة الانفعالات، أي في إدارة الإنسان للإجهاد إدارة أفضل. وقدم جان-إيمانويل دو نيف Jan-Emmanuel De Neve، أستاذ الاقتصاد في جامعة أكسفورد، الدليل على ارتباط بين متغيرات لهذا الجين والإحساس بالهناء والسعادة. ويبدو أن ثمة مفتاحاً كيميائياً آخر هو الأنانداميد المسؤول عن الإحساس بالسرور، لا سيما سرور التذوق، يقوم بدور في تنظيم إدارة الانفعالات. إن الإحساس الذاتي الذي يقوم على تقييم ما إذا كنا سعداء أو غير سعداء يتغير بتأثير الأنانداميد. وإن مفتاح السرور مقره في الكانابينويدات، ما ينشط إفراز الدوبامين في دارة الرغبة. ونملك نوعين وراثيين من جين هذا المستقبل. يقترن أحدهما بإحساس أكثر قوة بالانفعال الإيجابي وبإحساس بالسعادة، في حين أن الآخر يقترن بإيجابية أقل للانفعالات وبإحساس أكثر ضآلة بالسعادة.

مفتاح كيميائي للصبر: السيروتونين

ترتبط قدرتنا على التفاعل في مواجهة البيئة وحاجاتنا الحيوية بتنشيط فعال تقريباً للدارات المسؤولة عن اتخاذ القرار وتنفيذ الفعل. ولهذا، يملك الدماغ مفتاحاً كيميائياً متعدد التأثير: السيروتونين. يعدل هذا الناقل العصبي عدة وظائف للدماغ: الشهية، والنوم، والألم، والذاكرة، والمزاج، والعلاقة الاجتماعية. ويتعلق أحد التفاعلات مع البيئة الذي يتحكم به السيروتونين جيداً بالتكيف مع المواقف المسببة للإجهاد. فالإنسان يستطيع اللجوء إلى نمطين من سلوكيات التكيف مع البيئة المسببة للإجهاد . يهدف الأول إلى تفادي أو إخفاء مصدر الإجهاد. ويقوم الثاني على كتم أو تحمل النتيجة الانفعالية للحادثة المسببة للإجهاد. ويملك الدماغ لتنظيم هذين السلوكين

((٨)الكانابينويد هي مجموعة متنوعة من المركبات الكيميائية تقوم بتنشيط أو تفعيل مستقبلات الكانابينويد، وتشمل هذه الفئة الكانابينويد الداخلي أو الإندوكانابينويد (كانابينويد يتم إنتاجه داخل جسم الإنسان والحيوان) والفايتوكانابينويد (phytocannabinoids) و الكانابينويد التَخْليقِيّ (يتم تصنيعه في المختبرات). وتوجد مستقبلات كانابينويد في الجهاز العصبي المركزي. المترجم).

السيروتونين الذي يعدل تأثيره التواصل بين اللوزة والقشرة قبل الجبهية. والواقع أن القشرة الجبهية، تحت تأثير السيروتونين، تحد من الاستجابة العاطفية التي تحث عليها اللوزة أثناء الإجهاد. وبالمثل، يثبط السيروتونين العصبونات الهرمية للقشرة قبل الجبهية. وإذا كان السيروتونين نشطاً كلياً، فإنه يثير إحساسنا بمثيرات البيئة، في حين أنه إذا انخفض معدله في الدماغ نصبح أقل تأثراً بهذه المثيرات. وإنه يقوي الاهتمام بالآخر وبالتقمص الوجداني بزيادة الإحساس الاجتماعي، ولكنه يمارس على ما يبدو تأثيراً ذا حدين: يُسهل تأثيره الشعور بالسعادة في حالة الانفعال الإيجابي، ويزيد من حدة الحزن والغم في حالة الفشل أو أثناء الإجهاد المقترن بالشعور بالكدر والنفور.

نسب فريق كنجي دويا Kenji Doya، من جامعة أوكيناوا، دوراً أساسياً معدلاً للسيروتونين في الصبر والنزق. لاحظ العلماء أن انخفاض التأثير الدماغي للسيروتونين الذي يطلقه تثبيط مستقبلاته يزيد السلوك النزق لدى الفئران. يمارس السيروتونين تأثيراً مثبطاً في قرار أو عمل انطلق بسرعة بطريقة نزقة. عندما تواجه القشرة نتيجتين محتملتين في إطلاق عمل ما، إحداهما مواتية تؤدي إلى النجاح ، والثانية غير مواتية تؤدي إلى خطر أو عقاب، فإن الدماغ الانفعالي يتم تعديله بالسيروتونين الذي يوقف كل قرار نهائي متعلق بانطلاق الفعل. إن المنع الفوري لهذا الفعل سيكون له نتيجتان كما يمكن ملاحظة ذلك بسهولة: إما الصبر على تجنب نهاية خطرة وإما انتظار نهاية مواتية. يؤدي انخفاض تأثير السيروتونين المرتبط أحياناً بنقص إنتاج ناقل هذا المفتاح الكيميائي إلى زيادة الإحساس بالمثيرات السلبية والمكدرة، وإلى تقليل الإحساس بالمثيرات الإيجابية التي تسبب الفرح والسرور. يُحدث انخفاض معدل السيروتونين الدماغي في الواقع اختلالاً في الدماغ الانفعالي، ويؤدي غالباً إلى زيادة القلق وإلى قابلية الإصابة بالإجهاد. إن السيرونونين، على مستوى القشرة قبل الجبهية والذاكرة العاملة، يثبط الدافع واتخاذ القرار السريع، مقاوماً بذلك تأثير الدوبامين.

السيروتونين: سكين الدماغ السويسرية

يرى باري جاكوبس Barry Jacobs، أستاذ علم النفس في جامعة كاليفورنيا، أن السيروتونين مخلوق أسطوري sphinx يشارك في جميع وظائف الدماغ، ولكنه ليس مسؤولاً عن شيء. فالسيروتونين الذي يتم إنتاجه انطلاقاً من بضعة آلاف من العصبونات هو مفتاح كيميائي يعدل نشاط دارات شبكات عصبونية، وينظمه بفضل تأثيراته المثبطة. إنه نوع من المهدئ الطبيعي. فهو ينظم الطعام والألم والشهية والمزاج والذاكرة والجنس وسلوكيات وعواطف ومشاعر أخرى. ويرتبط إنتاجه في الدماغ أيضاً بالتغذية وبتأثير البيئة.

وإذا كان يؤثر تأثيراً قوياً في مزاجنا ومقاومتنا للإجهاد وقدرتنا على التفكير بجدية، فإنه مفيد جداً أيضاً للمحافظة على الحالة الجيدة للذاكرة. ويُسهل السيروتونين الذي يؤثر في آليات عدة التكيف مع الإجهاد فيعدل قدرتنا على التفاعل مع النزق المفاجئ الذي يمكن أن يؤدي إلى الخطر، لا بل إلى منعه. وإن تنظيم إنتاجه آلية دقيقة، لأن نقصه يؤدي إلى خلل قوي في الدماغ المسؤول عن القرار والانفعالات، الأمر الذي يؤدي إلى الحزن والقلق. وعلى العكس من ذلك، إن زيادته يمكن أن تبطئ الذاكرة العاملة، وأن تؤدي إلى تثبيط كل قرار.

الدماغ مجهز للعمل وللتفاعل والتكيُّف مع كل حدث. ومع ذلك، ينبغي عليه توقع لا بل تخيل المستقبل. فَتكيُّفه مع الأحداث المجهولة قد تشكل طوال تطور الثدييات من خلال قدرته على تنمية ذاكرة ممتازة، وهي قدرة جوهرية للبقاء المتمثل في الحافز والصبر.

الفصل السادس

الذاكرة والنسيان

"الذاكرة حارسة للفكر"

وليام شكسبير، *ماكبث*، ١، ٧.

الحصين: خارطة للذاكرة

نمو الذاكرة أمر جوهري في تطور الثدييات، لا سيما الذاكرة الشمية، ومن ثم الذاكرة البصرية لدى الرئيسات والقردة. وباعتبارها حارسة حقيقية للفكر، تتيح الذاكرة اكتشاف المكان والزمان، وذلك بتجميع الدروس المستقاة من تجربة الأحداث الفورية والماضية، وبتوقع الأحداث القادمة. وينبغي للذاكرة أن تكون جاهزة باستمرار لتُكيِّفَ السلوك القادم وفقاً لما تم تعلمه، وتجربته. وتختلف الذاكرة بحسب البيئة، وتملك لدونة ممتازة. وهكذا يمكن أن يحل محل العصبونات المسؤولة عن دارات الذاكرة عصبونات أخرى لإتاحة تعلم أحداث جديدة وحفظها.

ما مناطق الدماغ التي يتم فيها بناء الذكريات وتخزينها؟ كان معظم أطباء الجهاز العصبي في الفترة ١٩٢٠-١٩٣٠ يزعمون أن قدرات عقلية مختلفة مخزنة في مناطق خاصة من الدماغ: المنطقة الحركية، والمنطقة اللغوية، إلخ. يرى عالم النفس والسلوك الأمريكي كارل لاشلي Karl Lashley أن الذاكرة محدد موضعها في كل القشرة، وأنه ليست هناك منطقة خاصة ببناء الذكريات. ومع ذلك، وصفت بريندا ميلنير Brenda Milner[1] أستاذة علم النفس في جامعة ماك جيل McGille لدى مريض كندي أجريت له عملية في الفص الصدغي بسبب نوبات صرع فقداناً في ذاكرة الوقائع المكتسبة قبل

(١) (بريندا ميلنير (ولدت في ١٥ يوليو ١٩١٨) كندية مُختصة في علم النفس العصبي. اشتهرت بفضل أبحاثها المُهمة في مجال علم النفس العصبي السريري. ويُطلق عليها اسم "مؤسسة علم النفس العصبي" أحياناً. المترجم)

العمل الجراحي ببضعة سنوات والأحداث المعيشة حديثاً. وقد أبرزت هذه الملاحظة أهمية منطقة صغيرة في الفص الصدغي هي الحصين، ومنطقة مجاورة هي القشرة الصدغية في بناء الذكريات. ففي عام ١٩٨٦ وصف فريق زولا–مورغان Zola-Morgan، المختص في العلوم العصبية في جامعة سان دييغو، مريضة أصبحت فجأة مصابة بالنسيان بعد جلطة دموية دمرت طبقات من عصبونات الحصين. وقد جعلت الملاحظة الدقيقة لاضطرابات الذاكرة لدى هؤلاء المرضى تفسير الذاكرة أكثر تعقيداً أيضاً. والواقع أنه لا توجد ذاكرة واحدة فقط، وإنما أشكال مختلفة من الذاكرة: الفورية، والعرضية، والدلالية، والعاملة أو الإجرائية أيضاً. فقد حُفظ التركيز والذاكرة العاملة والذاكرة الحركية لدى المريض الكندي، بينما انخفضت الذاكرة العرضية انخفاضاً قوياً.

يرتبط الحصين بالعديد من مناطق القشرة، وإذا كان يخزن معظم الذكريات ويعيد بناءها، فإنه لا يحتفظ بها لفترة طويلة جداً. ويستخدم الدماغ عصبونات مختلفة بحسب نوع الذاكرة. ولم يتم بعد توضيح كل شيء توضيحاً كلياً. فالذاكرة الفورية والذاكرة العاملة التي نستخدمها من أجل حفظ سريع لمثير من البيئة (شخص التقينا به أو رقم هاتف)، لا تستمران سوى بضعة دقائق وتستخدمان الفص قبل الجبهي . ويُستخدم الحصين على وجه الخصوص من أجل الذاكرة العرضية، لا سيما عندما تقترن الأحداث المراد حفظها بمعالم في الزمان والمكان. وتستخدم ذاكرة التعلم الحركي، أي الذاكرة الإجرائية، مناطق أخرى مثل المهاد، والفص الجداري، ونويات جذع الدماغ.

هل الدماغ قمع؟

يلاحظ علماء البيولوجيا العصبية أننا لا نخزن المعلومات مثل التسجيل. يستخدم الدماغ أسلوباً مزدوجاً في الترميز من أجل تخزين عدد هائل من المعارف وترسيخه في الذاكرة. إنه يدرك معلومات رئيسة ويرمزها على شكل صور ورموز أو كلمات. ثم يعطي دلالة للحدث الذي يحتفظ به، ولا يحتفظ بالتفاصيل. ويمكن أن ينشط، من جملة عدد كبير من شبكات الوصلات، "مخططاً" خاصاً بحدث معين تتوزع عصبوناته في مناطق دماغية عدة: تكون المعلومات مجزأة. ففي كل شبكة من هذه الشبكات يتم حفظ عنصر رئيس يساعد على إعادة بناء الحادثة المراد حفظها، لا سيما مع سياقها الزمني والمكاني، والأشخاص المشاركين، وموضوع الحدث. وإن تم تذكر هذا الحدث بعد أسابيع عدة، فيمكن إيجاد الشخص المعني بسهولة، وموقع الحدث ووقته، ولكن مع بعض النسيان المتعلق بالتفاصيل التي رافقته.

تعمل الذاكرة وفق نظرية الآثار المتعددة: يمكن أن تنشط عصبونات في مناطق عدة. ويمثل الحصين بالنسبة إلى الذاكرة العرضية منشطاً فعالاً جداً لسياق الحدث، ولوقته وموقعه. أما الوقائع الأخرى أو المعارف فيمكن أن تكون موزعة في مناطق أخرى من القشرة. وإن تم تذكر الحدث، فإن شبكات الحصين تعيد تنشيط وصلات بعيدة فتفك رموز معلوماته وتعيد ترميزها من أجل وصولها فوراً، بشكل شبه كامل، إلى شعورنا. ويحتوي الحصين على ما يبدو على عصبونات قادرة على أن تنشط بالتتابع وفقاً للوقت الذي يمر حتى لو انتقلنا إلى موقع آخر. وقد برهن جون أوكيف، أستاذ العلوم العصبية في جامعة لندن، على وجود عصبونات في حصين الفأر قادرة، على أن تنشط كلما انتقل الحيوان إلى موقع مختلف في متاهة معينة. يرى هوارد آيخنباوم Howard Eichenbaum، أستاذ العلوم العصبية في جامعة بوسطن، أن عصبونات الحصين التي تتأثر بالوقت هي عصبونات المكان نفسها التي تنشط وفقاً لانتقال الحيوان.

إذا كان الحصين يتضمن عصبونات لحفظ السياق المكاني والزماني لحدث معيش فمن أين تأتي المعلومات؟ إنها تتعلق بالصور، والروائح، والأصوات المسجلة والمخزنة في مناطق مختلفة من القشرة الصدغية والجدارية والقذالية. فالتردد الذي تنشط به العصبونات من أجل جمع هذه المعلومات حاسم. وحتى يجد الحصين بشكل سريع الوقائع المحفوظة، فإنه يفرض تردداً منخفضاً من الموجات يتراوح بين ٤ و٧ دورات في الثانية، الأمر الذي يتيح له الاتصال بالقشرة الجبهية والصدغية والجدارية والقذالية، وأن يجد فيها عناصر الموضوع الرئيسة المتناثرة مثل أجزاء أحجية معينة، ليعيد بناء كل مكونات الحادثة. خلاصة القول إن بناء ذكرى يتطلب أربع مراحل رئيسة: ترميزها، الذي يستخدم إدراك واقعة أو حدث، لا سيما بتنشيط الحصين، وتخزين المعلومة (بعد بضعة أيام أو أسابيع، إذ يحتفظ الحصين بآثار الحدث ويرسل التفاصيل إلى شبكات عصبونية في القشرة التي تخزنها)؛ واسترجاع الواقعة أو الحدث الذي تم حفظه الذي يستخدم تنشيطاً قوياً للحصين فيؤثر على مختلف مناطق الدماغ ليُحدِّث كل تفاصيل الحدث الذي تم حفظه، ويغنيها، ويعززها.

الخلايا المكانية التي تعمل مثل نظام عالمي لتحديد المواقع GPS

برهن جون أوكيف في عام ١٩٧١ وجود عصبونات في حصين الفأر، وهي عصبونات مدمجة في شبكة تشبه شبكة المربعات التي تكونها خطوط الإحداثيات على الخريطة، ويرتبط تنشيطها بوجود الحيوان في المكان. تنشط العصبونات في مكان معين من الشبكة ثم تنشط بدورها عصبونات أخرى في مكان آخر بالتتابع مع متابعة الحيوان طريقه[٢]. ويرتبط إيقاع تزامن تفريغ الشحنات الكهربائية لهذه العصبونات بتأثير نواسين، يقع أحدهما في القشرة التي تفرض إيقاعاً سريعاً بينما يقع الثاني في الحصين الذي يحدد إيقاعاً أكثر بطئاً للتفريغ. ويتغير هذا التزامن وفقاً للزمن الذي يستغرقه الانتقال من مكان لآخر، الأمر الذي يتيح للحصين حفظ انتقال الحيوان في المكان والزمان في آن واحد. ويرى ستانيسلاس ديهان أن هذا النظام التشريحي، الذي يعد نظاماً حقيقياً لتحديد المواقع في دماغ الفأر، يستخدمه الإنسان على ما يبدو من أجل الذاكرة العرضية، وهي أكثر أشكال الذاكرة فائدة لدى الإنسان.

يملك الدماغ إستراتيجيات عدة من أجل حفظ واقعة، أو حدث أو صورة. وينبغي أن يدرك تباعاً الأشياء أو الأشخاص المعنيين، وأن يكون متنبهاً للأحاسيس التي يدركها، وأن يتعرف عليها، أي أن يقرن بها مضموناً كلامياً أو دلالياً، وأن يرمزها أخيراً بشكل صحيح لإيجاد كل العناصر التي تم حفظها، وإعادة بناء الذكرى. ولهذا فإنه ينظم ذاكرته وفقاً لنمط المعلومة المراد حفظها. ويحفظ الحصين السياق الزماني والمكاني (أين ومتى؟). أما الذاكرة قصيرة المدى التي تستخدم الفص قبل الجبهي فتحفظ المفهوم (ماذا كان ذلك؟)، في اتصال مع الفص الجداري والصدغي. فالمحتوى الدلالي أساسي لدى الإنسان، ويميز ذاكرته من ذاكرة الحيوانات. إن الإنسان قادر على الترميز الكلامي للأفكار المحسوسة والمجردة، الأمر الذي يتيح له استخدام شبكة تخزين خاصة، بإعطاء معنى كلامي أو صريح لحدث ما.

---

(٢) انظر بهذا الخصوص مقالا بعنوان "أين أنا؟ وإلى أين أنا ذاهب؟ العلماء في طريقهم لاكتشاف كيفية قيام الدماغ بتحديد الموقع"، بقلم ماي-بريت موزر، إدوارد. آي. موزر بتاريخ 10يوليو، ٢٠١٦، الرابط:
https://www.scientificamerican.com/arabic/articles/from-the-magazine/the-brain-s-gps-tells-you-where-/you-are-and-where-you-ve-come-from

كيف يجري تخزين الأحداث التي تم حفظها؟ يخلف الدماغ بشكل سريع في الذاكرة أثراً للحادثة المعيشة للتو، يطلق عليه اسم انطباعة engramme. وهذا هو السبب الذي يجعل الإدراك الأولي الذي يرافقه جهد التنبه يقوم بدور رئيس في الترميز السريع للمعلومات المراد حفظها، التي تتم مفهمتها وربطها بكلمة أو بكلمات عدة، على شكل أثر يُخزن في الذاكرة طويلة المدى. إذا أُعْجِبنا على سبيل المثال بلوحة *الموناليزا Mona Lisa*، فإننا نحفظ لوقت طويل أن الأمر يتعلق بنصفية لامرأة تبتسم وتنظر إلينا. وبالمقابل، إننا أكثر استعداداً لنسيان التفاصيل مثل الجبال في المنظر الطبيعي أو الطريق المتعرج باتجاه النهر في الجانب الأيسر من هذا المنظر. ويستخدم تخزين الانطباعة التي يمكن تذكرها بتكرار الصورة أو الحدث المراد حفظه. فبعض الانطباعات، مثل الكنية والاسم الأول أو القدرة على القيام بحركات تم تعلمها منذ الطفولة لا تُنسى أبداً، لأننا نكررها في الكثير من الأحيان.

موجات دماغية من أجل التذكر

يستخدم الدماغ من أجل حفظ معلومات متعددة رمزاً يتيح تقليل حجم رسالة يراد حفظها وإرسالها إلى منطقة محددة، حيث يتم تخزينها. فمن أجل حفظ رقم هاتف قام صديق بقراءته أو حادثة معيشة، يستخدم الدماغ الذاكرة الفورية. وتكون المعلومة مركزة في عناصر عدة يفصل بين تعاقبها مسافات كما في شيفرة المورس.

يدافع جون ليسمان John Lisman، أستاذ البيولوجيا في جامعة براندايزBrandeis،[٣] عن فرضية مفادها أن تراكم الرسائل التي تحتوي على معلومات متعددة ومتتابعة يُراد حفظها مُرمزة بموجات دماغية. وهكذا، يستخدم الحصين من أجل حفظ سياق حدث ما (أين ومتى حدث) موجات ثيتا thêta. تقوم استعادة الواقعة المحفوظة على وصلة بين الفص الجبهي والحصين، وتستخدم موجات غاما. ويبدو هذا الاقتران بين ثيتا وغاما gamma أساسياً لترميز الواقعة المحفوظة، وتقويتها، واستدعائها للذاكرة.

والأفضل من ذلك أن النوم هو الذي يسهل قوة الذاكرة لأن النوم العميق يُفضل موجات ثيتا الضرورية لاستبعاد التفاصيل غير الضرورية، ونوبات الحلم التي تفضل موجات غاما وتؤثر في تقوية الأحداث التي تم حفظها.

شريحة إلكترونية طبيعية: الذاكرة العاملة

(٣) (جامعة براندايز هي جامعة خاصة في والتهام Waltham تأسست عام ١٩٤٨، تقع في الجزء الشرقي من ولاية ماساتشوستس. المترجم).

الذاكرة العاملة ترف يعزز قدرات الذاكرة. فذاكرتنا تستطيع أن تحفظ فوراً مجموعة من الأرقام تصل بشكل عام إلى ٧ تقريباً، وأن تستعيدها في أقل من دقيقة. وليست الذاكرة العاملة سوى آلة لتسجيل ما سمعنا أو قرأنا للتو: إنها تتيح معالجة العناصر التي تم حفظها، وتلجأ إلى المنطق السريع من أجل القراءة، والكتابة أو الحساب. وتتضمن مكونات عدة، منها مكونان أساسيان: الحلقة الصوتية ، والوحدة البصرية المكانية. تنشط الحلقة الصوتية، على سبيل المثال، لحفظ رقم هاتف يزول سريعاً جداً، ولكنه يمكن أن يبقى في الذاكرة إن تم تكراره ذهنياً. أما الوحدة البصرية المكانية فتستخدم لتذكر الصور المتعلقة بمكان أو وجه لمحناه فجأة. إن الذاكرة العاملة مفيدة جداً للجمع بين معلومات عدة أدركناها بسرعة، ولاستخدامها بهدف القيام بعمل ما أو اتخاذ القرار. وترتبط بـ "عملية مركزية" تقع في الفص قبل الجبهي الذي يتحكم بنظاميها الثانويين، أي الحلقة الصوتية والوحدة البصرية المكانية- الأمر الذي يشير مرة أخرى إلى أهمية الإدراك البصري والكلامي في تكييف كل سلوك لدى الإنسان.

ومع ذلك، يبدو أن علماء البيولوجيا العصبية يناقضون حالياً فكرة وجود "معالج" وحيد. والواقع أن مناطق مختلفة مسؤولة عن إدراك المعلومات الخارجية يتم ترميزها وفرزها بسرعة فائقة، على مستوى القشرة قبل الجبهية، من أجل الفعل المراد تبنيه. وثمة شبكة من الوصلات الخاصة بالذاكرة العاملة تحفز بقوة الاتصالات بين مختلف المناطق المسؤولة عن إدراك المعلومات وترميزها. فحدوث أحداث متوقعة ينشط هذه الشبكة بقوة.

وتتمثل الميزة الثانية لهذه الشبكة في اختيار واستبعاد المعلومات الإضافية التي قد تؤدي إلى شرودنا في أثناء اتخاذ القرار. وهكذا تستخدم القشرة قبل الجبهية عقداً أو ملتقى طرق تتيح لها فرزاً سريعاً للمعلومات المراد بقاؤها في الذاكرة في الحالة الحاضرة، والمراد حفظها للبدء في اتخاذ إجراء معين.

يحاول العلماء الذين يستخدمون تصوير الدماغ عرض مناطق القشرة قبل الجبهية التي تنشط على وجه الخصوص في أثناء مهمات الذاكرة العاملة. وهكذا، إن مناطق عدة تنشط وفقاً لنمط المعلومة التي حفظتها أو اختارتها الذاكرة العاملة. وتنشط مناطق أخرى مسؤولة عن تذكر سياق كلامي، إما على مستوى الفص الصدغي ، وإما على مستوى الفص الجداري.

يرى عالم النفس برادلي بوستل Bradley Postle أن الذاكرة العاملة ليست دماغاً فائقاً ينفذ الأوامر، وليست مكتبة لتكديس الذكريات القديمة، وإنما قدرة فريدة للدماغ البشري على الإكثار من الاتصالات عند الطلب وفقاً لتجارب ماضية. فمن أجل كل مشكلة ينبغي حلها بعمل محدد تقوم القشرة قبل الجبهية بإنشاء شبكة خاصة تنشط من جديد بمجرد ظهورها ثانية. وكأننا نقوم في مواجهة كل مشكلة جديدة نريد حلها بإعادة تحميل برنامج جديد يتوافق مع حلها. يعتبر ستانيسلاس ديهان أن هذا يشكل برهاناً على وجود دارات سلكية بدئية ومنظمة تم إنشاؤها منذ الحمل. وبفضل تطور الجينات البشرية، تزود الدماغ بقابليات طبيعية لترميز معلومات مختلفة وراء قدراتنا على التجريد، والرقمنة، وتسمية الدلالة sémantisation (وضع كلمة لمفهوم أو لصورة ذهنية). فبفضل قدراتها تقوم القشرة قبل الجبهية بدور خاص في الوظيفة الرمزية التي يشمل تنشيطها بعد ذلك القشرة الجدارية. وإذا كان الإنسان يشارك الأنواع الأخرى القدرة على معالجة الشكل، والكم، والمكان، والصور فإن ذكاءه يساعده على ربط هذه القدرات بحيث تصبح علامة اعتباطية، مثل كتابة رقم، أو رمزاً مناسباً لكمية معينة. إن القابليات الفطرية للقشرة قبل الجبهية متغيرة في الواقع بحسب الأنواع.

إن الذاكرة الفورية، وهي شرط أساسي لأداء الذاكرة العاملة الجيد، يمكن أن يثيرها بقوة جهد الانتباه والتركيز. طلب أنطوني فاغنر Anthony Wagner من جامعة ستانفورد والمختص في الأمراض العصبية من مجموعة من ٢٠ طالباً حفظ قائمة من الكلمات تمت قراءتها على شاشة، وقام بتسجيل نشاط دماغهم بتقنية الرنين بالتصوير المغنطيسي. ثم طلب منهم في تمرين ثان بذل جهد لحفظ بعض الكلمات انطلاقاً من إشارات أعطيت لهم. وتم اختبار ذاكرتهم بعد نصف ساعة. وقد حفظ الطلاب كلمات التمرين الثاني بشكل أفضل، وارتفعت نسبة نسيان أزواج الكلمات المماثلة التي تضمنها التمرين الأول. وهكذا، يثبت تصوير الدماغ أن تخزين قائمة محفوظة من الكلمات أكثر فائدة إذا ركز الشخص انتباهه على قراءتها، ولم يشرد بفعل مثيرات خارجية أخرى.

يستخدم الدماغ، في ما وراء التنوع الهائل للشبكات العصبونية ووصلاتها، مفاتيح كيميائية قادرة على تقوية عمل الوصلات مثل الغلوتامات (ملح حامض الغلوتاميك)، وهو منشط ضروري لتخزين الوقائع المحفوظة. وهناك مفاتيح كيميائية طبيعية أخرى، مثل النورادرينالين الذي يتم

إطلاقه في أثناء جهد التركيز أو الانفعال، تقوي الذاكرة قصيرة المدى. فإعادة تعلم نص وتكراره ينشطان ويعززان وصلات المسافات البعيدة، التي يشارك فيها مركز اللغة والقشرة قبل الجبهية، والحصين.

تأثير القنب الهندي في الذاكرة العاملة

يؤثر القنب الهندي بفعل المحاكاة الكيميائية في مستقبلات مفتاح كيميائي طبيعي في الدماغ هو الأنانداميد. فتنشيط هذه المستقبلات ينشط العصبونات المنظمة لدارات الحصين. وفضلاً عن ذلك، يحرض القنب الهندي، انطلاقاً من الخلايا الدبقية، إطلاق مفتاح كيميائي مثير آخر هو الغلوتامات. تُعدل زيادة الغلوتامات إيقاع ذبذبات الدارات العصبونية للحصين، وتُخل بنظام ترميز الوقائع والأحداث التي تخص الذاكرة العرضية. وبفعل هذه الإثارة غير المنظمة للوصلات، لا يمكن لشبكات الحصين ووصلاته مع الفص الجبهي ترميز المعلومات التي تم إدراكها ترميزاً صحيحاً، ولا دمجها من أجل إتاحة التفكير.

أسرار النسيان

يكشف تأثير القنب الهندي كيف أن دارات الحصين منظمة بدقة من أجل تخزين المعلومات. وإن كانت اليقظة، والانتباه، والتركيز أموراً تُسهل الترميز فإنه يصعب على الحصين تحمل حشو القحف إن لم يكن مصحوباً بجهد الانتباه والتبسيط. والواقع أن الحصين يستخدم بالتناوب في داراته ذبذبات منخفضة التردد تُسهل انخفاض فاعليتها وبالتالي النسيان، وذبذبات مرتفعة التردد تقوي على العكس من ذلك فاعلية وصلات شبكاته. إن هذين النمطين من الآليات يتناوبان بشكل طبيعي أثناء مراحل تكرار نص أو درس، تتبعها فترة راحة.

النسيان أكثر قوة بكثير من الذاكرة، لأن ١٪ فقط من المعلومات التي تصل للوعي تحفظ لأجل طويل، أيّ لبضعة أسابيع. فالدماغ يختار بسرعة ما يحفظه، وينسى ثم يستبعد من مجال الوعي قسماً كبيراً من المعلومات التي تم تلقيها. وتحمينا هذه الآليات من حشو مفرط لدارات الدماغ بمعلومات غير مفيدة لسلوكياتنا المقبلة. فغالباً ما نقلق من "فجوات الذاكرة"، وهي علامات بالنسبة إلينا على فقد محتمل للذاكرة. والحال أن حوادث النسيان العابرة مرتبطة إما بإجهاد شديد وإما بعدم الانتباه. يرى برايس كولBrice Kuhl، المختص في علم النفس في جامعة ستانفورد، أن

الذاكرة العرضية انتقائية بالطبع. يرسل الحصين معلومات عديدة إلى القشرة الحزامية التي تحللها، وتفرزها، وتنسى بعضها لتجنب مزاحمة قوية جداً بين هذه المعلومات الواصلة على القشرة قبل الجبهية الجانبية. فهذه القشرة هي التي تختار المعلومات التي يمكن أن تكون مفيدة في المستقبل. ويُمَكنُ حفظ عدد قليل من المعلومات هذه المنطقة من القشرة من استعادتها بشكل أسهل. فالنسيان موات إذن لعمل الذاكرة العاملة.

فوائد السفر الذهني

عندما ننسى تفاصيل حادثة نعتقد أننا حفظناها، فإن الدماغ يبقي على ما يبدو على بعض الأجزاء الصغيرة التي يخلطها ويجمعها لتخيل أحداث قادمة وتوقعها. وقد تمت ملاحظة هذه الآلية بالتصوير الدماغي منذ سنوات عدة. فالمناطق الدماغية نفسها تُستخدم لتذكر الماضي وتوقع المستقبل. وتستند إلى وصلات عديدة بين الحصين والقشرة قبل الجبهية المتوسطة.

ينشط هذا السفر الذهني بشكل واضح عندما لا يكون الشعور منشغلاً بالتحضير لعمل فوري، إما في وقت الراحة وإما في وقت النوم. فالحصين يتسم بمرونة كبيرة: يمكن أن تُنشط داراته العديد من الشبكات التي تجتمع فيها من جديد مختلف تداعيات التفاصيل التي تنتمي للماضي من أجل إعادة بناء مخطط معين. يعود هذا المخطط إلى شعورنا، إما على شكل حلم متخيل مشوش، وإما على شكل انطباع بتذكر حدث ماض ليس في الواقع سوى تنبؤ بالمستقبل. إن هذه الذكريات الزائفة، مثل الذكريات الحقيقية، لها الهدف نفسه: خلق حالات من التنبؤ التي يمكن أن تكون مفيدة للمستقبل.

الذاكرة متعددة، وديناميكية، ومشاركة في عمل الدماغ كله واستجابته. إنها لا تسجل بدقة كل معيشنا. فذكرياتنا هي نتيجة إعادة بناء ذهني، تحدث من دون علمنا. وإنها تستخدم منظمين لدماغنا المنطقي: الانسجام مع واقع حقيقي أو معقول، والترابط المنطقي، أي إعادة بناء صورة ذهنية لا تولد صراعات على مستوى المحاكمة العقلية في دماغنا. فالذاكرة الانفعالية أحياناً، والعاطفية أو بكل بساطة الرمزية والفورية ترصد كل إدراك خارجي. وبوصفها تواقة لكل ما هو

جديد، ولكل ما يمكن أن يكون مفيداً، فإنها تفرز وتختار أو تبقي على العناصر التي ترى أنها مفيدة فترمزها وتصنفها إن كانت هناك حاجة لإعادة استخدامها من أجل البت في السلوك الجيد أو التصرف الأنسب، وحل مشكلة غير متوقعة، لا بل الخروج من موقف صعب. وهي ليست معصومة، وتحتاج بشكل متناقض للنسيان، لأن داراتها لا تملأ أبداً الدماغ مثل قرص صلب.

إن بعض الأفراد يملكون ذاكرة استثنائية، كما سنرى في الفصل القادم، إذ إن شبكات وصلاتهم الدماغية تفضل مع ذلك ذاكرة معينة غالباً على حساب ذاكرة أخرى.

الفصل السابع

الإبداعية، والموسيقى، والسعادة

"ليست الإبداعية سوى ربط الأشياء مع بعضها "

ستيف جوبز Steve Jobs.

تنتج الإبداعية، إبداعية الفنان الرسام أو إبداعية عبقرية المؤلف الموسيقي، عن خليط فعال من قدرات عقلية عدة. وتنشأ عن تأثير موهبة فطرية تمارس منذ التعلم الأولي، وتثيرها الخبرة المكتسبة أثناء الممارسة المتكررة والمتواترة. كيف يمكن والحال هذه تفسير الإبداعية الحيوية التي تظهر في منتصف حياة شخص من دون موهبة ظاهرة؟ لقد قارن فريق داليا زيدلDahlia Zaidel ، من جامعة لوس أنجلوس، أداء العديد من الفنانين الذين طوروا قدرة إبداعية بعد ظهور أمراض دماغية، مثل حادث وعائي أو خرف. ولوحظ آنذاك تجديد مفاجئ في قدرتهم الإبداعية في مجالات الكتابة والرسم أو النحت، يتيح لهم غالباً توضيح شكل جديد من التواصل والانفعالية و/ أو القدرة الحركية. وتعتقد داليا زيدل وفريقها أن الفص الجبهي لدى هؤلاء الأشخاص يطور إستراتيجية بقاء وتكيف على أثر إعاقة (فقدان الحركة، حبسة عصابية، صمم...) باعتبارها حافزاً بيولوجياً عفوياً ينبغي تجديده للتكيف بشكل أفضل مع البيئة.

لا تنزل العبقرية المبدعة أبداً من السماء، ولا تأتي من أي مكان. وهي تقوم على حل مشكلة لا بإضافة معلومات جديدة، وإنما بإعادة الربط بين معلومات سبق ترسيخها في الذاكرة بشكل مختلف. ومع ذلك، يمكن أن تتجلى أيضاً من خلال التعبير الحاد عن موهبة، أو عن قدرة ذهنية عقلية جداً، مثل المنطق الرياضي، أو أن تنتج عن تكرار مهمة أو حركة ينشط بصمة دماغية، كما في حالة النابغين في الموسيقى.

عباقرة الأعداد

ليس الذكاء الرياضي والمنطقي نتيجة نشوء شبكات وصلات أكثر امتداداً فحسب، بل أيضاً نتيجة تنشيط أكثر نجاعة لمناطق دماغية عدة. وقد كرست دراسات في التصوير الدماغي لكشف هذا السر: ما الذي يجعل الشخص عبقرياً؟

تتيح الذاكرة العاملة، كما سبق أن رأينا، حفظ ما يعادل ٧ معلومات سريعة (أرقام أو كلمات) وبسرعة كبيرة، مثل رقم هاتف أو عنوان بريدي دقيق. ويمكن للعبقري أن يحفظ فوراً ١١ رقماً وأن يتذكرها بطريقة فعالة. ويلاحظ لدى الأشخاص العاديين ولدى العبقري تنشيط للمناطق البصرية، يثبت تصوراً فورياً ومجازياً، مقترناً بالأرقام المراد حفظها. فالقدرة على السيطرة على الأرقام بالنسبة إلى حساب أكثر تعقيداً، كما في حل عملية ضرب عددين من رقمين، تنشط شبكة جبهية تمتد حتى الفص الجداري. ويلاحظ لدى العبقري فقط تنشيط إضافي لمناطق أخرى من الدماغ مسؤولة عن الذاكرة العرضية: القشرة الجبهية المتوسطة اليمنى، والفص المجاور للحصين، والقشرة الحزامية اليمنى.

يقدم ذلك دليلاً على أن الدماغ بكثرة التمرين والتدريب يستخدم ذاكرته العرضية طويلة المدى كذاكرة عاملة يمكن الوصول إليها فوراً من أجل استعادة معلومات محفوظة معقدة وجمعها في زمن قياسي.

هل ترتبط العبقرية بموهبة فطرية؟

زعم عالم النفس الأمريكي ك. أندرس إريكسون K. Anders Ericsson في التسعينيات أن العباقرة يطورون بفضل ممارسة مُركَّزة، بدلاً من استخدام ذاكرتهم قصيرة المدى، شبكات منظمة لترميز سريع للعناصر التي تم ترسيخها في الذاكرة طويلة المدى. ويستعيدون بفعالية كل معلومة جديدة مرتبطة بمجال خبرتهم. وبعبارة أخرى، إنهم يتغلبون على حدود الذاكرة قصيرة المدى باستخدام ذاكرتهم طويلة المدى.

استخدم بريان بيوترورث Brian Butterworth، أستاذ علم البيولوجيا العصبية في جامعة لندن، تقنية التصوير المقطعي بالإصدار البوزيتروني TEP التي تطبق في تصوير الدماغ، لمقارنة

التنشيط الدماغي لحاسب خبير بتنشيط ٦ أشخاص موهوبين طبيعياً في الحساب الذهني. وتشير النتائج إلى أن العباقرة في الحساب يستخدمون شبكات تخزين طويلة المدى لحفظ معلومات بشكل سريع. ويطورون، بفضل التمرين الطويل والمتكرر، شبكة واسعة جداً من العصبونات لتشغيل ذاكرتهم العاملة. ويتوافق التنشيط الملاحظ في القشرة الجبهة والصدغية والحزامية الأمامية اليمنى مع الترميز وذاكرة الاسترجاع، أو القدرة على استعادة معلومة تم تعلمها في وقت سابق. وفضلاً عن ذلك، تشارك القشرة الحزامية الأمامية في اكتشاف الأخطاء والصراع بين إجابات متنافسة، وتقوم بدور منظم للعمليات المعرفية، يعكس تأقلم السلوك مع مواقف معقدة. ويترجم ذلك بقدرة الخبير في الحساب على اكتشاف أخطائه العرضية وتصويبها فوراً.

إن البنى الصدغية الوسطى اليمنى، مثل الحصين والمناطق القريبة، مسؤولة عن الجوانب البصرية-المكانية للذاكرة العرضية، فالمنطقة الصدغية اليمنى تتكفل بتخزين المعلومات والمحافظة عليها لأجل طويل. فالعبقري يقرن إذن مشاركة الذاكرة العاملة قصيرة المدى (البصرية - المكانية) بمشاركة الذاكرة العاملة طويلة المدى.

أداء العباقرة في الحساب

إن روديجر غام Rüdiger Gamm أحد هؤلاء "العباقرة في الحساب"، القادرين ذهنياً على تحقيق حسابات معقدة، وبسرعة كبيرة جداً، ومن دون جهد كبير ظاهرياً. فهذا الشاب الألماني يستطيع أن يرفع جميع الأعداد من رقمين إلى القوة من الدرجة ١٥، وأن يضرب ببعضها أعداداً من رقمين أو ثلاثة أرقام، وأن يحسب قيم الجيوب sinus والجذور أو تقسيم عددين أوليين على بعضهما. ويستطيع أيضاً أن يعطي، بالنسبة إلى أي تاريخ ماض أو قادم، اليوم المقابل من الأسبوع.

يملك روديجر غام ذاكرة قصيرة المدى، واسعة بالنسبة إلى الأعداد. وهو قادر على تذكر ١١ رقماً أعطيت له بالترتيب وبالعكس، في حين أن الأشخاص الذين ليست لديهم خبرة لا يتذكرون سوى ٧ أرقام بالترتيب و٥ أرقام بالعكس. وهذه القدرة لا تنطبق مع ذلك على الحروف أو المواقع المكانية، وإنما على الأعداد فقط. وأخيراً، لقد حفظ روديجر غام عددا كبيراً من المعلومات الرقمية: إنه يعرف عن ظهر قلب كل قوى الأعداد المكونة من رقمين، ويستطيع أن يقولها في أقل من دقيقة واحدة. فهذا العبقري هو إذن مثال جيد على الطريقة التي تنشط بها ذاكرة الأعداد المجلية جداً هذه القدرة العبقرية.

ما الذي يحدث في دماغ موهوب في الرياضيات؟ لاحظ المختصون في علم النفس العصبي، الذين يجرون روائز الذكاء منذ ١٩٩٠ لدى هؤلاء الأشخاص، زيادة الأداء في الحل السريع للمشكلات، وقدرة ممتازة على استخدام المفاهيم، وذاكرة عاملة جيدة جداً. وقد أوضح التصوير زيادة الشبكات العصبونية المسؤولة عن الذاكرة العاملة في جانبي الدماغ، تشير إلى احتمال وجود اتصالية دماغية أعلى من المتوسط.

حلل فريق مانويل ديسكوManuel Desco، من جامعة مدريد في عام ٢٠١٤، كثافة الألياف العصبية بتقنية التصوير بالرنين المغناطيسي لدماغ مجموعة من اليافعين كان نصفهم موهوباً في الرياضيات. لوحظ آنذاك ارتفاع عدد الوصلات بين نصفي الدماغ لدى الموهوبين بفضل كثافة ألياف الجسم الجاسئ، وهو منطقة من الدماغ تربط الجانبين الأيمن والايسر، يمر عبرها حوالي ٣٠٠ مليون ليف عصبي. وفضلاً عن ذلك، سجل مانويل ديسكو زيادة كثافة الوصلات العصبية بين الفص الجبهي المسؤول عن الذاكرة العاملة والذكاء والفص الجداري المسؤول عن الذاكرة البصرية-المكانية. يرى هذا العالم المختص في البيولوجيا العصبية أن أفضل قدرات الذاكرة المقترنة بزيادة سهولة استخدام المفاهيم مرتبطة مباشرة باتصالية عالية لفصوص الدماغ الرئيسة فيما بينها.

يملك الموهوبون في الحساب أداء ممتازاً في "تفكيرهم السائل" أي في الإدراك السريع للعلاقات بين المعلومات المجردة، وفي ذاكرتهم العاملة، وفي استعدادهم لتصوير المعلومات الرقمية المعقدة ذهنياً. فذاكرتهم العاملة تساعدهم على الاستعمال السريع للمعلومة بهدف حل مشكلة، وتمنحهم قدرتهم على التصوير الذهني القدرة على توضيح معلومات متعددة لبناء الحل وفهمها.

الدماغ المبدع: الدماغ الأيمن والدماغ الأيسر

ليس الإبداع قدرة على التخيل وإنما إنتاج عمل أصيل، وجديد، وفريد. ففرضية وظيفة دماغية مسؤولة عن الموهبة الفنية والقدرة الإبداعية جاءت نتيجة ملاحظة مرضى أجريت لهم

عمليات في الستينيات من القرن العشرين، لا سيما على أيدي فريق روجر سبري Roger Sperry[١] في كاليفورنيا.

كان هذا الجراح يجري عملية في الدماغ تسمى بضع الصوار[٢]، وتقوم على إجراء شق من بضعة مليمترات في مسار الألياف العصبية التي تربط الدماغ الأيمن بالدماغ الأيسر. وكانت هذه العملية تستخدم آنذاك لمعالجة مرضى الصرع، بهدف الحد من انتقال النوبات من طرف من الدماغ إلى الطرف الآخر. وقد قادت الملاحظات العديدة لنتائج هذه العمليات على القدرات العقلية والمعرفية روجر سبري إلى الدفاع عن فكرة دماغ أيمن تختلف قدراته عن الدماغ الأيسر. ويستخدم الدماغ الأيسر تفضيلياً القدرات اللغوية والحسابية، بينما يطور الدماغ الأيمن قدرات التجريد، والإدراك البصري-المكاني، ويتدخل في القدرة الإبداعية.

يرى عالم النفس الكندي فينود غول Vinod Goele أن إنجاز عمل فريد هو ثمرة قدرة الدماغ البشري على حل مشكلة ما بأن يجعل تفاعل الدماغ الجبهي الأيمن والأيسر فعالاً جداً. ويقترح نموذجاً معرفياً للقدرة الإبداعية التي تبنى وفقاً لأربع مراحل رئيسة: يضع المبدع لنفسه هدفاً، ورؤية واضحة لما يريد إبداعه، ويتصور حلولاً تمهيدية مجازية وغامضة في هذه المرحلة، ويكون فكرة دقيقة عن إبداعه، ويدقق إنجاز هذه الفكرة وينهيها. ويعتبر غول أن دماغ العبقري المبدع مرتبط بصراع تخصص وظائف الفص قبل الجبهي الأيمن والفص قبل الجبهي الأيسر. ويسهل هذه الصراع تفاعلهما، ويفسر مختلف المراحل العقلية للإنتاج الإبداعي. فبينما يبقى الدماغ الأيمن تجريدياً وتصورياً ومنفصلاً عن الواقع، يعقلن الدماغ الأيسر التفاصيل التي يجيد

---

(١) (روجر سبيري Roger Wolcott Sperry عالم أعصاب ونفس عصبي أمريكي (20 أغسطس 1913 - 17 أبريل 1994) حاز على جائزة نوبل في الطب عام1981 مشاركة مع تورستن فيزل Torsten Wieselوديفيد هوبل David Hunter Hubel لعمله في مجال بحث انقسام الدماغ. المترجم.)

(٢) (بضع الصوارcommissurotomie هو شق جراحي لـلصوار في الجسم، مثل ذلك الشق الذي يحدث في القلب في أطراف الصوار المُكوّن بواسطة الصمامات القلبية أو الشق الذي يتم في المخ لمعالجة مرض عقلي معين. في بعض الأحيان، يحتاج مرضى تصلب الجلد، وهو مرض يثخن ويصلب الجلد، إلى بضع صوار فمي لفتح زوايا الفم، أي الصواري، للسماح بإمكانية المعالجة السنية. وتترك هذه العمليات في الغالب ندوبًا مميزة.المترجم.)

ربطها بالعالم الواقعي ويدركها. ويحاول كل جانب الهيمنة على الآخر، وبشكل عام، يكون المنتصر هو الدماغ الأيسر، الأمر الذي يؤدي إلى حيرة في مواجهة المشكلات المراد حلها، وإلى تردد وصعوبة في الإحاطة بالتفاصيل.

يرى هرمان فون هيلمولتز Herman von Helmoltz، وهو ألماني مختص في علم وظائف الأعضاء، أن المراحل الأربع هذه تتصف بالتحضير، والحضانة (الكمون أو الاختمار incubation)، والإشراق أو الإلهام، والتحقيق أو التنفيذ. ففي المرحلة الأولى يتدخل الطموح المبدع، المستنير بقوة بالمعارف التي يملكها الشخص، وكفاءاته الخاصة، والمصادر التي بحوزته لتنمية طموحاته. وتتداخل خلال المرحلة الثانية العديد من الأفكار المجردة التي ستكون مفيدة في بناء تصور العمل المراد إنجازه. وتبقى هذه الأفكار مبهمة لا بل غامضة، وتستخدم تنشيط القشرة الجبهية الجانبية اليمنى. وتهيمن القشرة الجبهية اليسرى خلال المرحلة الثالثة، وتتيح للشخص تمثل صورة محددة ذهنياً، وواضحة، وغير غامضة لما يريد إنجازه، ففي هذه المرحلة يصرخ قائلاً "وجدتها". وأخيراً، يأمر الدماغ قبل الجبهي دماغ القرار والفعل، ويخلق الفنان عمله بكل تفاصيله.

لقد تم التحقق من هذه الملاحظات باستخدام التصوير بالرنين المغناطيسي الوظيفي، وتحليل صور دماغ موسيقي يؤلف قطعة موسيقية. وقد لوحظ فيه تنشيط كبير للفص قبل الجبهي الأيمن. ويرى فريق ناما مايزليس Naama Myseless، من جامعة حيفا، أن الدماغ قبل الجبهي الأيمن هو مقر الأصالة والتفكير التبايني (التباعدي)، أي القدرة على تبني حلول عدة في مواجهة موقف معين.

إن الحماسة المراد استكشافها ومعرفتها وفهمها، والقدرة على إدراك الجديد وغير المتوقع إدراكاً أفضل، ترتبطان على وجه الخصوص بتنشيط دارة المكافأة التي تتطلب تأثير الدوبامين. وإن الرغبة في الاستكشاف أو بالأحرى الاهتمام بعدة معلومات خارجية تثير في الدماغ آلية مكافأة داخلية. وتقلل هذه الآلية من التردد المتعلق بالحدوث الفجائي لأحداث غير مرغوبة، وتعزز فرصة النجاح في تحقيق الهدف النهائي المتوخى والمرغوب. وقد درست بترا سوينجنشوه Petra Swingenschuh، طبيبة الجهاز العصبي في جامعة غراتس Graz النمساوية، القدرات الإبداعية لمرضى في بداية مرض باركنسون، كانوا يظهرون منذ سنوات عدة موهبتهم في الرسم. ولاحظت أن

بعض أولئك الفنانين كانوا يغيرون تدريجياً من سلوكهم بالعلاج بالأدوية المنشطة للإفراز الدماغي للدوبامين. وقد أصبح نشاطهم الإبداعي زاخراً، وجامحاً أو قهرياً أحياناً.

جين الإبداعية؟

يرى علماء النفس أن الإبداعية تقوم على القدرة على حل مشكلة بتقديم حلول متعددة. ويستخدم الدماغ عندئذ التفكير التبايني الذي يبرهن على ثلاث قدرات معرفية: الطلاقة الإبداعية، والمرونة، والأصالة. وقد برهن علماء البيولوجيا العصبية بشكل جيد على تأثير هرمون الدوبامين على القدرة الإبداعية. يؤثر الدوبامين على مستقبلاته فينشطها، ومنها الجين المسمى DRD4 الذي يقوم بدور حاسم في سلوكيات الفضول والمبادرة والإبداعية. وبرهن فريق ناما مايزليس Naama Mayseless على أن المتغير 7R للجين DRD4 الذي يحمله حوالي ٢٥٪ من الأشخاص مقترن بسلوك أكثر انجذاباً للجديد، وبقدرة إبداعية أكثر سهولة. وتدل هذه الملاحظات على تأثير الدوبامين على تحفيز الشبكات العصبونية المشاركة في التفكير التبايني، والاستعداد لتقديم أفكار جديدة ومرونة معرفية أفضل.

العصبونات التي تصنعها الأصوات

العزف على آلة موسيقية أحد التمارين الأكثر تأثيراً في قدرة الدماغ على التكيف مع البيئة. وتساعد اللدونة الدماغ، كما سبق أن رأينا، على التعلم واكتساب معارف وحركات يؤدي تكرارها – وهو مرحلة تميز التعلم– إلى تعديل نمو الوصلات العصبية. ينتج عن ذلك، أفضل تكيف للدماغ في ممارسة التمرين.

تحفز الموسيقى مناطق دماغية عدة مسؤولة عن الإدراك الحواسي. وتتطلب قدرة معرفية ممتازة وكفاءة تجريدية، مرتبطتين بإتقان السلم الموسيقي. وأخيراً، تحتاج الموسيقى إلى تنسيق وثيق بين الإدراك الحواسي والتمرين الحركي، من خلال استخدام الذراعين والأصابع، لا بل القدمين. ويحفز العزف المتواصل والمنتظم على آلة موسيقية تخلق النسيج العصبي في المناطق السمعية والحركية.

ولكن لماذا تدخل الموسيقى السرور (في قلوبنا) وتحفز انفعالاتنا؟ يُدخل الاستماع للحن السرور بتنشيطه الدارة الدماغية للمكافأة. ومع ذلك، لا يرتبط الشعور بهذا السرور بتلبية حاجة حيوية مثل الشهية إلى الطعام أو الرغبة في الجنس. فما هو سبب تقدير الدماغ البشري للأصوات

وللموسيقى منذ حوالي ٥٠ ألف سنة؟ تُعبر الأصوات غير المنتظمة، لدى أنواع عدة من القرود والثدييات، عن ظاهرة طبيعية: حفيف الأشجار أو صوت أمواج البحر. وأما الأصوات المنتظمة التي تصدر بنغميات متغيرة مثل شقشقة العصافير، فإنها تُعبر عن شكل من التواصل بين الحيوانات. برهنت ملاحظة قردة المرموسيت marmousets أنها كانت قليلة التأثر بتغيرات نغمية لحن موسيقي يقل عن مجموعة من ثماني وحدات ونصف.

وبالمقابل، يميز الإنسان بسهولة الفرق بين الموسيقى السارة واللحن النشاز. وترتبط هذه الميزة بنمو القشرة قبل الجبهية وقدرتها على اكتساب ذاكرة عاملة تتعلق بالأصوات والموسيقى. وقد طور الإنسان نتيجة قدراته اللغوية ذاكرة فورية للأصوات، وهي ضرورية لفهم معنى جملة يسمعها. وراكم بعد ذلك الخبرات، وحفظ العديد من الألحان في ذاكرته الشخصية، ومعرفة للعالم الذي يحيط به في الذاكرة الدلالية. إن الاستماع لموسيقى سارة يطلق شعوراً بالسرور المعرفي، يختلف عن الشعور بتلبية حاجة حيوية (العطش، الجوع): يرى علماء البيولوجيا العصبية أن تلبية هذه الحاجة يؤدي إلى شعور بالسرور لا يقترن بحاجة حيوية، الأمر الذي يفسر على الأرجح غياب الإدمان المرضي على الموسيقى.

الرعشة الموسيقية والأثر العلاجي للموسيقى

إذا كانت الموسيقى تهذب الأخلاق فإن لها تأثيرات عدة في الدماغ. وليس العلاج بالموسيقى فكرة حديثة، إذ إن الفيلسوف يامبليخوس Jamblique[٣] ذكر أن فيثاغورث Pythagore كان "ينقل النفس من حالة إلى عكسها بفضل ألحان مناسبة". ويرى كثير من علماء النفس أن الموسيقى سرور

(٣) (يامبليخوس (٢٤٥م-٣٢٥م)، عرف أيضاً بيامبليخوس الخلقيسي أوالقنسريني حيث مدينة خلقيس اليوم هي قنسرين Iamblichus Chalcidensis أو يامبليخوس الأفامي بسبب سكناه في أفاميا (المدينة الأثرية السورية، التي تقع في وسط سهل الغاب على بعد ٥٥ كم شمال غربي مدينة حماة، والتي يقع إلى جوارها حصن قديم حمل اسمها ويعرف اليوم باسم قلعة المضيق) ونشاطه الثقافي فيها، أما لفظ يامبليخوس باللغة اليونانية فليس إلا تحريفاً لاسمه الآرامي السوري القديم (يا ملكو) أي "هو الملك". كان يامبليخوس فيلسوفاً ورياضياً سوريا ومن المؤسسين لمذهب الأفلاطونية المحدثة. المترجم).

مفهومي لأنها لا تشبع أية رغبة أولية. ولا تنكشف هذه الجمالية إلا عندما ندرس كل نتائج الاستماع إلى نغمة أو إلى لحن تنشده جوقة موسيقية.

تُسهل الموسيقى في الواقع التواصل الاجتماعي وتنطوي على العديد من الإمكانيات العلاجية. فعزف الموسيقى يعني التبادل، سواء في إطار الأوركسترا، أو بالعزف المنفرد. وتُسهل الموسيقى ما يطلق عليه علماء النفس اسم التعاطف المشترك، وهو شكل من المشاركة العفوية من دون اللجوء إلى الكلام، لعاطفة مهدئة، أو مزيلة للإجهاد ومهدئة للأعصاب. وتنظم الموسيقى الانفعالات، وتقوم بدور مهم في التطور المعرفي، لا سيما لدى الطفل. فالرقص أو العزف يسهل تنسيق الحركات، ويقوي اللحمة الاجتماعية، ويعزز المشاركة والثقة في الآخر.

يحاول علماء البيولوجيا العصبية الذين لديهم فضول لمعرفة تأثيرات الموسيقى على الدماغ فهم ما يلي: ما مصدر رعشتنا لدى سماع بعض الألحان؟ هل هو رد فعل منعكس؟ وهل هو نتيجة للشعور؟ إنهم يستخدمون، لملاحظة ذلك، التصوير بالرنين المغناطيسي (أو تقنية التصوير المقطعي بالإصدار البوزيتروني، وهي تقنية لتصوير الدماغ). تنشط عندئذ بقوة منطقة من الدماغ تقع في الجسم المخطط striatum، الأمر الذي يؤدي إلى إطلاق الدوبامين. وتنشط هذه المنطقة من الدماغ بالطريقة نفسها عندما نشرب الماء بعد عطش شديد، وبعد أكل الشوكولا، وخلال العلاقة الجنسية، أو أثناء تعاطي المخدر. فإطلاق الدوبامين الذي ينشط الدماغ الانفعالي يصاحبه وفقاً للأفراد إحساسٌ بالسرور، وبالفرح الشديد، لا بل بالسعادة.

يثبت التصوير بالرنين المغناطيسي تنشيط الجزيرة والقشرة الحزامية. فهاتان المنطقتان القادرتان على فك شفرة الإدراكات الحواسية تقومان بمزامنة استجابات الدماغ التي تترجم بعدئذ في الوعي بشعور بالسرور مع مختلف أوجه التعبير: حركية (التصفيق باليدين)، وبدنية (الشعور بالرعشة، والتعرق)، وذاتية (الشعور بحالة جيدة، والتعبير عن السرور). ويبرهن الباحثون على أن هذا الشعور بالسرور بني انطلاقاً من تجارب موسيقية خاصة ومعرفية، وقدرات على الاستماع والانتباه، وأنه لا يمكن بأي حال أن يرتبط برد فعل منعكس.

يبين ستيفان كولش Stefan Koelsch، من جامعة برلين، بفضل التصوير بالرنين المغناطيسي الدارات التي تنشط بهكذا إدراك انفعالي. فعندما قارن استجابات الدماغ لاستماع موسيقى منغمة وسارة بالاستماع للحن نشاز وغير سار، لاحظ في الحالة الأولى تنشيطا قوياً لدارة السرور، لا سيما تنشيط الجزيرة الذي يعبر عن الشعور بالسرور، ويمتد إلى اللوزة التي تُقيِّم بدورها التكافؤ السار للعاطفة وتُنبه القشرة الجبهية الحجاجية التي تنقل إلى الوعي أن "الشعور جيد". وإن كان إدراك الموسيقى باعتبارها غير سارة فإن الجزيرة لا تنشط.

عندما يشعرنا الكمان بالقشعريرة

إن الاستماع للحن ذي نغميات متغيرة جداً وغنية بالتوافقيات، يمكن أن يطلق غالباً انفعالاً قوياً، يشبه رعشة في الظهر أو إحساساً بالقشعريرة إن بدا لنا ممتعاً جداً. وقد فحص فريق روبير زاتور Robert Zatorre، من جامعة ماكجيل McGill في كندا، تأثير مثل هذا الانفعال بمسح الدماغ بتقنية التصوير بالرنين المغناطيسي، وحاول تحديد الآلية الدماغية للرعشة الموسيقية.

إن تجربة السرور القصيرة ناجمة عن إطلاق الإندورفينات endorphines[٤]، وهي أحد المفاتيح الكيميائية للسرور. وترتبط هذه التجربة بتنشيط الجسم المخطط والفص الصدغي الداخلي والفص الجبهي. وبعبارة أخرى، تسرنا الموسيقى لأنها تنشط دارة المكافأة.

تستخدم منذ سنوات كل فوائد الموسيقى هذه في معالجة مختلف أمراض الدماغ أو صدماته، لا سيما من أجل مرضى تعرضوا لحادث وعائي دماغي وأطفال مصابين بالاضطرابات اللغوية مثل عسر القراءة والفهم dyslexie. ويسرد البروفسور إيمانويل بيغان Emmanuel Bigand، من جامعة ديجون الفرنسية، قصة سيدة أصيبت بالبكم نتيجة مثل هذا الحادث الوعائي، ولم يعد لديها أية رغبة في التواصل. قام الفريق المعالج بإسماعها أغنية شارل ترنيه Charles Trenet "الوردة الزرقاء". وقد

(٤) (يعتبر الإندروفين من أهم الهرمونات التي يفرزها الجسم عن طريق الغدة النخامية وخلايا الدماغ في العديد من المواقف المختلفة، ومن أقوى المسكنات الطبيعية للألم التي يفرزها الجسم من تلقاء نفسه، عند التعرض لبعض المواقف التي يحتاج الجسم فيها للمسكن الطبيعي، وقد أطلق أحد الباحثين اسم "قناع الغبطة" على هرمون الإندروفين، نظراً لأن إفراز الجسم له يمنح شعوراً بالراحة، والسعادة، والاسترخاء. المترجم).

رددت السيدة خلال بضع دقائق لازمة الأغنية وغنتها مع الآخرين، مستعيدة بذلك اللغة. إن هذه القدرة المعرفية للموسيقى أكثر مقاومة للإصابات الدماغية من القدرات الأخرى، مثل الذاكرة. ففي حالة آفة نصف الدماغ الأيسر المرتبط باللغة، يمكن للموسيقى، التي تثير شبكة دماغية واسعة يطلقها الانفعال، أن تنقل تنشيط الشبكات المسؤولة عن اللغة إلى نصف الدماغ الأيمن.

ثمة مثال آخر على إعادة التمرين العصبي تتعلق بالاضطرابات الحركية، لا سيما عدم رشاقة الأصابع وصعوبات التنسيق الحركي لأصابع اليد اليمنى، بعد إصابة بالفالج الشقي hémiplégie. فممارسة العزف على البيانو في هذه الحالة، بالنسبة إلى لحن من السهل جداً عزفه، وحتى من دون قراءة الألحان، تُطلق إعادة تنظيم للقشرة الحركية المتضررة. إن إثارة القشرة السمعية تنشط شبكات خاصة متناسقة بقوة مع القشرة الحركية، ومختلفة عن تلك التي تستخدم في تمارين التحكم الإرادي للأصابع واليدين البسيطة. ففائدة هذه الممارسة تكمن في عوامل عدة تعمل في آن واحد، مثل تكرار الحركات، ودقتها، لا سيما اقترانها مع الصوت، وارتباطها مع مثير عاطفي أو تحفيزي. ويلاحظ الباحثون، بعد تعلم لمدة أربعة أسابيع، تعزيزاً للوصلات العصبونية بين المناطق السمعية والمناطق الحواسية الحركية للأصابع. ويلاحظون أيضاً أهمية الإيقاع لمعالجة الاضطرابات اللغوية مثل عسر القراءة والفهم لدى الطفل. وبذلك، تساهم الموسيقى بقوة في إعادة تنظيم الدارات العصبونية وفي تحفيز اللدونة وترميم شبكات العصبونات التي أصيبت بآفات.

ممارسة الموسيقى من أجل تجنب الشيخوخة المعرفية

لاحظ المختصون في التصوير تغيرات مرئية في الدماغ لدى متوسطي السن الذين يمارسون نشاطاً موسيقياً. وهكذا، يزداد عدد الوصلات بين نصفي الدماغ بعد بضعة أسابيع من ممارسة متصلة ومنتظمة للعزف على آلة موسيقية. وتساعد هذه الممارسة على تشكيل احتياطي معرفي، أي أنها تطور وصلات بعيدة المدى بين القشرة السمعية والقشرة الصدغية والقشرة الحركية، وهي عادة أضعف لدى الذين لا يمارسون الموسيقى. تبدأ بالعمل عندئذ إستراتيجيات تعويضية في الدماغ فتجعل عمله المعرفي الشامل في صورته المثلى. وهذا ما تدافع عنه أعمال برندا حنا-بليدي Brenda Hanna Pladdy، من جامعة كنساس في عام ٢٠١١. فالموسيقيون يحصلون على أفضل النتائج في الاختبارات المعرفية. وفضلاً عن ذلك، يُعتبر أداء الموسيقيين المحترفين الذين تجاوزوا سن ٧٠ سنة في هذه الاختبارات أفضل من أداء الموسيقيين الهواة الذين ينجحون فيها بشكل أفضل من الذين ليست لديهم أية ممارسة موسيقية.

لا يمكن أن تزيل الموسيقى آثار مرض دماغي. ولكنها تُسهل مع ذلك، من خلال فاعليتها في تحسين الوصلات بين مناطق دماغية عدة سواء في نصف الدماغ نفسه أو بين النصفين، إستراتيجيات إعادة تنظيم دارات القشرة، وهو أمر يبدو مفيداً جداً لتعويض وظيفة دارة تالفة في الذاكرة، على سبيل المثال أثناء الشيخوخة. وكما سنرى في الفصل التالي، ينبغي تمرين الدماغ باستمرار لتحفيز قدراته على إعادة التنظيم والتكيُّف.

الفصل الثامن

رياضة العصبونات

"العقل السليم في الجسم السليم"

جوفينال Juvénal، "الأهجية العاشرة".

خُلق الإنسان ليتحرك، ويكتشف، ويستكشف، ويتعلم. تُعدل هذه التغيرات في بيئته ذاكرته، وسلاسة تفكيره، وتكيفه مع الإجهاد. وقد كان البرهان على ذلك ممكناً بفضل دراسات عدة أجريت على القوارض، حيث يمكن اختبار تأثير الركض واكتشاف المكان في عمل الدماغ بشكل أسهل. وينبغي ألا ننسى أن ٨٠٪ من جينات الفأر تتطابق مع جينات الإنسان. فكيف تدرك العصبونات نشاطنا البدني وتستجيب له؟

خُلق العضل والدماغ ليتفقا فيما بينهما

تثبت العديد من الدراسات التأثير الإيجابي للنشاط البدني المنتظم في الصحة بشكل عام، وفي صحة الدماغ بشكل خاص. يلاحظ علماء البيولوجيا الإشارات الكيميائية التي تطلقها العضلات، والتي تستطيع تنشيط إنتاج عصبونات جديدة، وصون وظائفنا المعرفية. تؤثر هذه الإشارات في الجينات التي تتحكم بحالة الوصلات العصبية، وتوزعها أو تنشيطها. وقد تخصصت هذه الجينات خلال تطور الإنسان لتتيح حواراً خاصاً بين العضلات والدماغ. فإحدى مشكلات مجتمعاتنا المعاصرة تكمن في الجمود، لا سيما في العمل، في حين أن التمرين يصون وظائفنا المعرفية. والواقع أن جيناتنا تكيفت مع أسلوب حياة القردة العليا التي كان عليها، خلال عشرات الآلاف من الأجيال،

الانتقال يومياً بحثاً عن الغذاء وهرباً من الضواري المفترسة. ومن هنا جاءت هذه القدرة للعضلات على إطلاق إشارات يمكن أن تُنشط الانتباه والذاكرة، وأن تُسهل قدرتنا على الاستجابة للبيئة، وبالتالي على البقاء.

لقد صاحب زيادة حجم الدماغ لدى الإنسان تحسن في الوظيفة البصرية، والذاكرة، وقدرات التوجه المكاني. ومكن تطوير القدرات البدنية بالمشي والعدو جينات الإنسان من التكيف مع غزو مناطق جديدة. فقد تجسد هذا التطور الجيني بتطور متزايد للقدرات المعرفية، التي لا ترتبط بارتفاع متزايد لعدد العصبونات فحسب بل أيضاً بقدرة أكبر على ترميم هذه العصبونات ووصلاتها. ويمارس تمرين العضلات تأثيره الإيجابي في المزاج والذاكرة والقدرات المعرفية، والسعادة أيضاً. وإذا كانت هذه الآليات معقدة، فمن الواضح أن تمرين العضلات يثير الذاكرة بتنشيط انفعالية خلايا الحصين.

لذلك ابتكر بعض أعضاء الجسم إشارات نمو الخلايا العصبية التي تسمى النوروتروفينات neurotrophines. تُنتج أنماطٌ عدة من الخلايا عامل نمو، مثل خلايا الحصين، والمخيخ، والفص الجبهي، يسمى عامل التغذية العصبية المستمد من الدماغ BDNF[1]. وتفيد دراسات عدة، أجريت على القوارض وعلى جرعات عامل النمو هذا في دم بعض الأشخاص، أن إطلاقه في الدماغ ينشطه تمرين العضلات. وهذا يسهل تخلق النسيج العصبي في الحصين، بتنشيط بقاء العصبونات المكونة، وبتسهيل اللدونة، وفاعلية المشبكات العصبية، أي الوصلات بين العصبونات. ينظم عامل التغذية العصبية المستمد من الدماغ أيضاً استهلاك الطاقة والوزن، بتأثير عمله في تحت المهاد أو الوطاء، الذي يمكن وصفه بأنه مركز للتحكم بدماغنا. وتنقص نسبة عامل النمو هذا في الدم في حال الإصابة بالسكري، والبدانة، ولدى المصابين بالاكتئاب أو بمرض ألزهايمر.

---

[1] (*brain-derived neurotrophic factor*).

الإيريزين: قرص الرياضة

إن كنا نعلم منذ سنوات عدة أن تمرين العضلات يقوي الذاكرة، ويسهل نمو العصبونات في الحصين، فإن آليته كانت مجهولة سابقاً. ففي عام ٢٠١٣ اكتشف فريق بروس سبيجلمان Bruce Spiegelman، أستاذ البيولوجيا الخليوية في جامعة بوسطن، بروتيناً تفرزه عضلة تحت تأثير المران، قادراً على إثارة الدماغ، لا سيما الحصين. أطلق على هذا البروتين اسم "إيريزين" irisine، المستمد من اسم الآلهة الإغريقية إيريس Iris ، قياساً على دور حامل البريد الكيميائي الذي يقوم به في الدماغ.

اكتشف هذا الفريق أن تمرين تحمل بدني منتظم (ركضت فئران وقتما شاءت خلال ٣٠ يوماً) زاد إفراز الإيريزين، وحرض إنتاج عامل نمو العصبونات في الحصين (عامل التغذية العصبية المستمد من الدماغ). ويكفي أن نزيد بشكل مصطنع نسبة الإيريزين في الدم لتنشيط عامل النمو في الدماغ. وبما أن التمرين المنتظم يحسن الوظائف المعرفية فيمكنه أيضاً تحسين أعراض أمراض الدماغ مثل الاكتئاب،ومرض ألزهايمر، ومرض باركنسون.إن الأمل في تطوير دواء انطلاقاً من الإيريزين يمكن أن يقدم إمكانية لتحسين الذاكرة خلال الشيخوخة بتقليد تأثير التمرين البدني المنتظم.

كيفية صون الدماغ وتمرينه

لماذا نصون دماغنا؟ ليشيخ بسرعة أقل أو لتجنب ضياع رشدنا؟ تصبح صحة الدماغ مهددة عندما تعاني بقية الأعضاء. وهكذا، يُنشط السكري أو زيادة الوزن إطلاق إشارات كيميائية تؤدي إلى التهاب الخلايا، وتسرع تدهور عملها. وبالمثل، يمكن أن تؤدي أوعية دموية في حالة سيئة أو حالة ارتفاع الضغط إلى نزيف يتلف العصبونات. فالعصبونات مرتبطة إذن بالمحافظة على الجسم في صحة جيدة.

يعني استخدام الدماغ أيضاً زيادة أدائه. والواقع أن دراسات عدة أجريت على القوارض وعلى الإنسان باستخدام التصوير بالرنين المغناطيسي أشارت إلى أن الدماغ يكتسب عصبونات ووصلات جديدة عندما يتم تنشيطه. فتنشيط القدرات الدماغية التي تصاب عادة بخلل وظيفي بعد سن ٧٠ عاماً يساعد على الحد من تدهورها التدريجي. وبالمثل، إن بيئة غنية أثناء الطفولة، مثيرة ومواتية للتعلم، ضمان لتطور متناسق لدارات العصبونات. فالتمرين البدني المنتظم لدى البالغ يحافظ على تخلق النسيج العصبي الفعال، ويحد بذلك من الآثار الضارة لتقدم العمر. إن فقدان

العصبونات أو الوصلات أكثر خطراً على الذين يعيشون حياة قليلة الحركة، ويؤدي غالباً إلى انخفاض في القدرات المعرفية، مقارنة بالذين يمارسون تمريناً بدنياً لمدة ساعة على الأقل كل يوم.

يعيد الدماغ تنظيم نفسه باستمرار وفقاً للبيئة، في سبيل تقديم السلوك الأكثر تكيفاً. وهذا ما يطلق عليه البيولوجيون اسم اللدونة العصبية. إن فهم كيفية تكيف الدماغ وتنمية وصلات جديدة من أجل التكيف مع مواقف جديدة أمر جوهري في الطب، لا سيما من أجل استعادة الوظائف الحركية والمعرفية بعد مرض أو حادث أحدث تلفاً دماغياً، ولكن أيضاً من أجل مقاومة التدهور المعرفي المرتبط بالشيخوخة. فمعرفة آليات هذه اللدونة العصبية يمكن أن توجه إستراتيجيات التعلم في كل مرحلة عمرية.

يوافق النشاط البدني كل حركة تساعد على استهلاك الطاقة. فكيف يقيس علماء البيولوجيا العصبية فوائده للدماغ؟ إننا نعرف الشعور بالغبطة والسعادة بعد تمرين تحمل، مثل الركض المستمر لمدة ٣٠ دقيقة أو أكثر. إن النتائج على مستوى العصبون أكثر سهولة للملاحظة لدى فأر نتركه يركض على جهاز الجري، إذ تلاحظ زيادة في كثافة الأوعية الدموية الدقيقة التي تسهل نقل الأوكسجين للعصبونات. وتسجل زيادة في إنتاج عامل التغذية العصبية المستمد من الدماغ، لا سيما في الحصين، ونتائج أفضل في اختبار الذاكرة المكانية بعد ركض حثيث. ما الذي يحدث لدى الإنسان؟ تشير دراسات أجريت بعد الوفاة إلى أوعية دموية دقيقة ووصلات أكثر كثافة في دماغ أشخاص مارسوا تمريناً بدنياً منتظماً في نهاية حياتهم. وفضلاً عن ذلك، يبرهن التصوير بالرنين المغناطيسي على زيادة ثخانة القشرة الجبهية، وزيادة حجم الحصين، وتسارعاً لتدفق الدم في الفص الجبهي. بيد أن هذه الملاحظات لا تشير إلى أي جزء من الدماغ سوف ننجح في تدريبه بفضل التمرين البدني. ومن المحتمل جداً أن هذا التمرين يعمل بهذا الخصوص مثل عملية الإحماء تقريباً بالنسبة إلى الرياضي: مثلما تنشط العضلات المتحركة الدورة الدموية التي تحرض إطلاق الأوكسجين وتسهل تنشيط الشبكات العصبونية، تعزز العضلات النشطة إنتاج الدماغ لعوامل النمو التي تنشط نمو أوعية دموية جديدة، وتعزز بقاء العصبونات.

تشير مختلف دراسات الجوائح على نطاق واسع، التي أجريت على أطفال من ١٠ إلى ١٤ سنة، إلى أن تعلم المفردات والنتيجة التي حصلوا عليها في اختبارات الذكاء أفضل لدى الذين

يمارسون رياضة بانتظام. وبالمثل، إن نشاطاً رياضياً مستمراً ومنتظماً بين عمر ١٥ و ٢٥ سنة مرتبط بمقاومة الدماغ بشكل أفضل للتدهور المعرفي المرتبط بالعمر. فالذخيرة المعرفية لدى هؤلاء الأشخاص أكثر تطوراً. وتثبت دراسات أخرى سرعة أعلى للتفكير لدى الذين كانوا في السبعينيات من عمرهم، والذين مارسوا بانتظام رياضة خلال يفاعتهم. إن قسماً كبيراً من هذه الآثار مرتبط على الأرجح بتنشيط مختلف أنماط مستقبلات الغلوتامات، وهو أحد المفاتيح الكيميائية التي تنشط دماغنا.

ينظم التمرين البدني المنتظم، بعيداً عن التأثيرات المباشرة على عمل القدرات العقلية، قدرتنا على التكيف مع الإجهاد. فالمشي السريع لمدة ٣٠ دقيقة يومياً، أو الأفضل من ذلك أيضاً الركض، ينشط إطلاق هرموني الإجهاد، النورادرينالين والكورتيزول. وعندما نتحرك، فإننا ننتج إجهاداً بدنياً، ويتعلم دماغنا إطلاق كمية ملائمة من هرمونات الإجهاد. وهكذا يصبح أكثر مقاومة لكل شكل من أشكال الإجهاد، مثل الإجهاد النفسي أو التعب المستمر. ويعزز التمرين أيضاً قدرات الاسترخاء ويُسهل، من خلال الهدوء والاستراحة اللذين ينتجان عنه، إطلاق المعدلات العصبية مثل السيروتونين الذي ينظم إطلاق الدوبامين والنورادرينالين ويعزز، هنا أيضاً، القدرة على الاستجابة للإجهاد.

رياضة دماغية أم بدنية؟

إن تدريب الدماغ يعني تنشيطه حتى يراكم جمع الخبرات، ويعزز فاعلية داراته، ويتيح لنا تحسين قدراتنا العقلية. ويتم الكلام غالباً على تدريب الدماغ لتجنب فقدان الذاكرة. وإذا كنا نصاب جميعاً بشيخوخة الدماغ، فإنه يعمل بشكل أفضل كلما تم تنشيطه- يكون تنشيط شبكات العصبونات أفضل بعد أسابيع عدة من التعلم.ويعني ذلك أن أداء الدماغ يرتبط بالمهمة الخاصة التي نمرنه من أجلها. لنأخذ مثالاً أي تدريب يستوجب تنسيقاً بصرياً وحركياً، مثل التدريب على أعمال الخفة. ففي هذه الحالة، لن تصبح شبكات التنسيق التي تتطلب الرؤية في المكان والتنسيق الحركي والذاكرة المكانية أكثر فاعلية وأقل ارتكاباً للأخطاء إلا بعد شهور عدة من التمرين، وبمعدل ثلاث إلى خمس جلسات على الأقل أسبوعياً. وقد درس فريق جون جونيديس John Jonides، في جامعة ميتشغان، تأثير تدريب الذاكرة العاملة على الدماغ. فهذا

النوع من الذاكرة الفورية، كما سبق أن رأينا، يساعد على التفكير بسرعة من أجل اتخاذ قرار، أو أيضاً حفظ المعلومات الحديثة. وهي مفيدة بشكل كبير للنادلين، لحفظ تفاصيل ثلاثة إلى خمسة طلبات تمت منذ أقل من دقيقتين.

التصوير بالرنين المغناطيسي وتخطيط أمواج الدماغ أداتان تساعدان على استكشاف ما يجري في الدماغ أثناء تمارين التدريب المعرفي. يستهلك الدماغ بشكل عام، بعد أسابيع عدة من التدريب، كمية أقل من الأوكسجين لإنجاز التمرين نفسه، الأمر الذي يثبت أن تنشيط الوصلات يصبح أكثر فاعلية، وأكثر توفيراً بفضل التدريب. وليس هناك دليل على زيادة عدد الوصلات خلال الفترة نفسها، ولكن تلاحظ زيادة في نشاط العصبونات التي تستخدم الدوبامين، المفتاح الكيميائي المنشط للدماغ، والمسؤول عن الفعالية في نقل الاتصالات.

التدريب يقلل استهلاك الدماغ

تمكن ريتشارد هاير Richard Haier، أستاذ علم الأعصاب في جامعة كاليفورنيا، في عام ١٩٩٢، من البرهنة على تأثير التدريب على لعبة تتريس Tetris[٢] (وهي لعبة فيديو على شكل أحجية) على استهلاك الدماغ للسكر. وقد لاحظ بفضل التصوير المقطعي بالإصدار البوزيتروني TEP أنه بعد شهرين من التدريب أصبحت شبكات القشرة أكثر فاعلية، وأن العصبونات الأساسية في تنشيط الدارة المناسبة هي التي قامت بالعمل فقط، الأمر

(٢) (تَتريس (بالإنجليزية: Tetris)؛ و(بالروسية: Тетрис)، هي لعبة فيديو على شكل أحجية تم تصميمها من قبل أليكسي باجيتنوف في يونيو ١٩٨٥، وذلك أثناء عمله في الأكاديمية الروسية للعلوم في موسكو. تم أخذ اسم اللعبة من الإغريقية "تيترا" وتعني (رباعي) وذلك لأن جميع الأحجار تحوي أربع قطع، و"تينس" حيث كانت كرة المضرب هي لعبة باجيتنوف المفضلة. توجد اللعبة تقريباً على كل أجهزة الألعاب وأنظمة تشغيل الحواسيب، بالإضافة إلى العديد من أجهزة الهاتف المحمول، وأجهزة الوسائط المتعددة المختلفة. تسقط الأحجار المكونة من أربع قطع بشكل عشوائي ضمن مساحة اللعب. ويكون هدف اللعبة هو تحريك هذه القطع يمنة ويسرة أو تدويرها بزاوية ٩٠ درجة بهدف تشكيل خط أفقي من القطع بدون وجود أي فراغ فيه. وإذا ما تم تشكيل مثل هذه الخط فإنه سوف يختفي وجميع القطع التي فوق هذا الخط سوف تهبط للأسفل، وكلما زادت الخطوط التي يمكن أن تختفي سويًا تزداد النقط. مع تقدم اللعبة سوف تصبح حركة القطع أسرع وتنتهي اللعبة عند وصول القطع المتراكمة إلى أعلى مساحة اللعب. في بعض الإصدارات توجد بها أكثر من سبع قطع، وإصدارات أخرى يمكن بها تغيير القطعة بدلاً من تدويرها فقط. المترجم).

الذي خفض الاستهلاك العام للسكر إلى أقل من ٥ غرامات في الساعة. وفضلاً عن ذلك، تزامنت الشبكات المنشطة على تردد موجات أضعف، هو تردد ألفا[٣] rythme alpha، الأمر الذي أتاح لها أن تكون أكثر فاعلية في اتصاليتها. وهكذا، يقدم الدماغ المدرب مردوداً أفضل لتنشيط شبكاته العصبونية.

برهنت ريوتا كواشيما Ryuta Kawashima، أستاذة الفيزيولوجيا العصبية في جامعة طوكيو، التي أكدت هذه النتائج انطلاقاً من ملاحظة ٣٢ متطوعاً تدربوا إما على لعبة عمر الدماغ Brain Age وإما على لعبة تتريس Tetris، على تحسن بعض القدرات الدماغية، مثل الذاكرة العاملة، والانتباه، والذاكرة المكانية، وسرعة تنفيذ الاستجابات.

ما التأثير الفعلي في الدماغ للتدريب على ألعاب الفيديو؟ درس ستيفان كون Stefan Kühn وفريقه في جامعة برلين، من خلال التصوير بالرنين المغناطيسي، تغيرات حجم المادة الرمادية في القشرة لدى ٤٨ بالغاً بعمر ٢٥ سنة يمارسون ألعاباً إلكترونية أو ألعاب فيديو مختلفة (سوبر ماريو ٦٤، ميغا مان، تتريس أو لعبة كاسحة الألغام Minesweeper). يلاحظ، بحسب نوع اللعبة، وبالتالي بحسب التدريب على قدرة عقلية خاصة، زيادة كبيرة في حجم بعض مناطق القشرة. وهكذا، تنمي لعبة سوبر ماريو ٦٤ الذاكرة البصرية-المكانية، وهي مرتبطة بزيادة حجم الحصين الأيمن. وهذه الزيادة واضحة، لاسيما أن إستراتيجية الملاحة لدى اللاعب للفوز بالنتيجة أفضل. وتقترن زيادة حجم فصي المخيخ بدرجة عالية من التنسيق الحركي للأصابع ومهارة حركية أفضل في استخدام الشاشة أو عصا التحكم، إن تعلق الأمر بمنصة من نمط نينتندو Nintendo. وأخيراً، لاحظ الباحثون زيادة كبيرة في حجم الحصين وفي حجم الفص قبل الجبهي الأيمن لدى الذين تصبح رغبتهم في اللعب مُلِحّة بعد خمسة أو ستة أيام من التدريب. ومع ذلك، تبقى هذه الزيادات في الحجم ضعيفة جداً، وتبلغ ٢ إلى ٤٪، وتنم بشكل عام عن إعادة تنظيم للقشرة مرتبطة بلدونة المادة

(٣) (تظهر موجات ألفا أثناء النشاطات العقلية المتصلة بالإدراك الواعي، ولكنها تمثل نشاطاتٍ عقلية هادئة، حيث تمثل موجات ألفا الحالة الهادئة للدماغ، وهي تعني أن الدماغ واعٍ ويدرك ما حوله، ولكنه غير نشيط أو فعال، ويمكننا تشبيهها بحالة "Stand By" الخاصة بجهاز الحاسوب، حيث لا يقوم الحاسوب بتنفيذ أي فعل يتطلب قدرات المعالج، إلا أنه جاهز لاستقبال أي إشارة أو تنبيه. المترجم).

الرمادية. إن مثل هذه الملاحظات لا تساعد على إثبات ظهور عصبونات جديدة في المناطق التي تتغير فيها اللدونة.

يعتبر نيقولا لانجر Nicolas Langer، المختص في علم النفس العصبي في جامعة بوسطن، أن ذاكرة عاملة فعالة وسريعة هي دليل على درجة عالية من الذكاء. فبقياسه نتائج اختبارات ذكاء ٧٥ شاباً سجل نشاطهم الكهربائي بتخطيط أمواج الدماغ بكثافة عالية، أثبت أن اتصالية الشبكة الجدارية-الجبهية، التي تُستخدم بكثرة في اختبارات القياس النفسي لقياس الذكاء، أكثر فعالية وتستخدم عصبونات أقل لدى الأفراد الذي حصلوا على أفضل نتيجة في الاختبار.

تنشيط الذخيرة الدماغية من أجل المحافظة عليها

إن بيئة معرفية ثرية، وفضولاً كبيراً، ونشاطات عدة للتعلم، تشكل دارات الدماغ، وتجعلها تعمل بالصورة المثلى بتنشيط بقاء العصبونات وتحقيق اتصاليتها. وفضلاً عن ذلك، إن قدرات ترميم عصبونات الحصين وتجديدها تُسهل تكيفاً مثالياً لقدراتنا العقلية مع الإجهاد. وغالباً ما يصاب أطباء الأمراض العصبية بالدهشة بسبب قدرات استعادة اللغة والذاكرة أو قدرات التفكير لدى بعض المرضى في الأسابيع التي تلي حادثاً وعائياً دماغياً. ففي حالة آفة متطابقة، لا يستعيد شخصان بالسرعة نفسها والجودة ذاتها قدراتهما المعرفية.

يميز أطباء الأمراض العصبية طريقتين مختلفتين للدماغ في الوقاية من التدهور المرتبط بالشيخوخة. أولاً، يمكن أن يصبح نمو الوصلات كبيراً جدا منذ سن مبكرة إذا كان التعلم والتراكم المعرفي متنوعين ومتعددين. ثانياً، أن الحياة الصحية الممتازة والتدريب المستمر لدارات العصوبات يعززان أداء الدماغ الجيد. فخلال فترة سن الرشد كلها ينشئ الدماغ شبكة كثيفة جداً من الوصلات، ويُكون بذلك قدرة تحميه من آثار الإجهاد أو الأمراض: الذخيرة الدماغية.

إن تكوين هذه الذخيرة مفيد على وجه الخصوص للسنين الأخيرة من الحياة، ويمثل نوعاً من التأمين. فعندما يحدث التدهور المعرفي المتعلق بانخفاض أداء الوصلات الدماغية أو بفعل الأثر المدمر لبدء الخرف، تتأثر بعض المناطق فقط. وللحد من هذا التدهور، يهمش الدماغ هذه الدارات المتضررة، ويُعيد تنشيط دارات أخرى ما تزال تقوم بوظائفها بشكل كامل، وفق آلية تعويض

وتكييف فعالة جداً. إن هذه الذخيرة الوظيفية أو المعرفية يمكن أن تساعد على الاحتفاظ بذاكرة سليمة، وقدرة على القرار الواضح والدقيق حتى سن متقدم جداً.

تشكل النشاطات الفكرية والاجتماعية والبدنية طوال الحياة هذه الذخيرة المعرفية وتهيؤها، وتحمي الدماغ من آثار الآفات التنكسية المرتبطة بالخرف. تابع فريق ياكوف ستيرن Yakov Stern، من جامعة كولومبيا، أشخاصاً أصيبوا بالخرف في جماعة من ١١٧٢ شخصاً بعمر ٦٥ سنة وأكثر، تم فحصهم باختبارات نفسية عصبية خلال ٧ أعوام. كان الأشخاص موزعين حسب نشاطاتهم وفقاً لثلاثة أنواع من الهوايات: الثقافية (القراءة، والسينما، والمسرح)، والاجتماعية (الخروج، وألعاب الورق، والنشاطات الجماعية والطوعية) أو البدنية (المشي- واكتشاف الطبيعة، والنزهات، والرحلات). فالذين كانوا يواظبون على ممارسة نشاط على الأقل في كل فئة من هذه الفئات نقص احتمال إصابتهم بالخرف بنسبة ٣٨٪.

تظهر هذه الملاحظات غير المباشرة لأفضل مقاومة للدماغ لأثر التدهور التدريجي أو المرضي لقدراته أنها آلية ترتبط منذ سن مبكرة بتنشيط الوصلات العصبونية.

درس دونالد هب Donald Hebb، أخصائي الأمراض النفسية العصبية في جامعة مونتريال، في عام ١٩٤٨، تأثير الظروف البيئية والتربية على نمو القدرات العقلية لدى القوارض. فالبيئة المحفزة التي تُربى فيها الحيوانات في قفص باذخ مليء بالأشياء الملونة، والأنفاق، والعجلات، والسلالم، تؤثر بشكل مباشر في النمو الدماغي وتعدله.

أكمل هذه النتائج منذ عام ١٩٦٢ علماء آخرون أخصائيون في بيولوجيا الأعصاب فلاحظوا زيادة في حجم القشرة (من ٣ إلى ٧٪) وفي عدد الوصلات العصبونية لدى الفئران التي تمتعت ببيئة ثرية مقارنة بتلك التي تم تربيتها في أقفاص موحدة. إن تأثير هذه البيئة يقرن إثارة بصرية وسمعية وحركية (كانت الفئران تركض بحرية في نفق أو في عجلة). وفضلاً عن ذلك، لوحظ في دماغها عدد أكبر من الخلايا الدبقية (المغذية للعصبونات) وكثافة أعلى للشعيرات الدموية. ومن الأفضل للدماغ أن يكون ثرياً وبصحة جيدة...

إن تأثير البيئة المحفزة هذا، إن كان أكثر أهمية لدى الفئران الفتية بعمر يقل عن ٤ شهور، يستمر ولكن بدرجة أقل في عمر البلوغ. وهو مرتبط أيضاً بمردود أفضل بوارد الأوكسيجين والطاقة، الضروري لعمل العصبونات.

ما تأثير الراحة والاسترخاء والتأمل في الدماغ؟

هل هناك راحة بالنسبة للدماغ؟ وهل يمكن ألا يكون للعصبونات أي نشاط؟ وهل يمكننا ألا نفكر في أي شيء؟ في الواقع، إن الدماغ نشيط دائماً، حتى من دون التفكير في شيء محدد. ففي حالة الراحة، يُنشط الدماغ شبكة عصبونات تُسمى شبكة الوضع الافتراضي[٤]. ثم إننا عندما نشرع في حركة أو نُركز انتباهنا البصري على شيء، فإن هذه الشبكة تتوقف لتتيح المجال لشبكة أخرى، تناسب على وجه التحديد النشاط الشعوري. ما الذي يحدث عندما نسترخي، ونحاول ألا نفكر في أي شيء؟ يسجل تخطيط أمواج الدماغ عندئذ موجات ألفا بتردد ١٠ ذبذبات في الثانية، توافق شبكة الوضع الافتراضي. وكأن الدماغ يمارس هنا رياضة ركوب الدراجة الهوائية بلا جهد، ويستعد لبدء العمل أو التفكير بالضغط بالقدم مرة واحدة على الدواسة. فعند بدء هذا العمل، يُظهر تخطيط أمواج الدماغ أن الإثارة العصبونية تتميز بموجات بيتا.

تتيح دراسة تردد الموجات التي يسجلها تخطيط أمواج الدماغ بشكل غير مباشر ملاحظة الاتصالات بعيدة المدى في الدماغ. وهكذا، عندما يُنشط الدماغ شبكة معينة، فإن التصوير بالرنين المغناطيسي يشير إلى تغير محلي فقط يعبر عنه تدفق الأوكسجين إلى الوصلات الأكثر نشاطاً، ولكنه لا يشير كيف يمكن لشبكات عدة أن تنسق تنشيطها بعيد المدى.

---

(٤) (تنشط مجموعة من مناطق المخ تعرف باسم "شبكة الوضع الافتراضي" أو اختصاراً بـ دي إم إن، حينما يكون الشخص في حالة أحلام يقظة أو يفكر في الماضي أو المستقبل. انظر "دراسة: شبكة أحلام اليقظة في المخ تجعلنا نؤدي بعض المهام "آلياً"، الرابط:

http://www.bbc.com/arabic/science-and-tech-41738205. المترجم).

يحدث تنشيط خاص لبعض الشبكات العصبونية أثناء مهمة تتطلب تركيزاً، وهو تنشيط يسهل عرضه ظهور موجات من نمط بيتا أو غاما في تخطيط أمواج الدماغ. وتستخدم كل شبكة عصبوناتها الخاصة لتنفيذ عملية محددة، وهذه الشبكات غير متزامنة مع بعضها بشكل كبير.

تُدرب تقنيات الاسترخاء الحديثة التي تشمل نشاطات بدنية وذهنية (اليوغا، والتأمل، والتأمل في حالة الوعي التام) الدماغ على تعديل الاتصالات بعيدة المدى بطريقة سريعة وشبه إرادية. فخلال جلسات التأمل، ومهما كان المنهج المستخدم، يلاحظ تباطؤ في تردد الموجات الدماغية. يشير هذا التردد إلى أن الشخص نجح في التحرر من المثيرات الخارجية، وأنه استطاع أن يركز على الانتباه الداخلي لبدنه.ويمكن أن يشمل هذا التردد، بكثير من التدريب، الفصوص الجبهية، وأن يطلق أثراً إيجابياً بالشعور بالراحة. وإن تزامن هذا التردد بين الجانب الأيمن والجانب الأيسر يمكن أن يحدث أثراً مضاداً للإجهاد. إن تتابع التدريب يظهر موجات ثيتا بطيئة (بتردد أكثر من ٨ ذبذبات في الثانية)، على شكل فترات من بضعة ثوان متقطعة خلال تدريب من ٥ إلى ١٥ دقيقة، وهو التردد نفسه الذي يتبناه الدماغ قبل الدخول في نوم خفيف. وهذا النشاط المتزامن شاهد على استرخاء فعال. فبعد بضعة أسابيع من جلسات الممارسة بمعدل جلستين إلى ثلاث جلسات أسبوعياً، يوضح تسجيل النشاط الكهربائي للدماغ قدرة متزايدة على تزامن الشبكات العصبونية الذي يتميز بتردد موجات ضعيفة، هي موجات ألفا وثيتا.

توفر هذه التمارين التي تتطلب منهجاً صارماً وممارسة طويلة ومنتظمة ميزة لا جدال فيها لتحسين اللدونة المشبكية لشبكات الوصلات. وهي مفيدة بالتأكيد للتحكم بالانفعالات تحكماً أفضل، والقلق، والإجهاد ، ولتوفير الشعور بالهدوء والسكون.

ممارسة التأمل: حكاية موجات

تُلاحظ تغيرات في النشاط الدماغي عند تخطيط أمواج الدماغ بعد شهور عدة من ممارسة التأمل. فتقنيات الاسترخاء تزيد تردد ألفا، وتتيح أحياناً فترات نشاط بتردد ثيتا، الأكثر بطئاً، وهو قريب من النشاط الحاصل أثناء النعاس. فهذه التغيرات العميقة في نشاط الموجات الدماغية دليل على إثارة وصلات الشبكات، تؤدي إلى ظواهر لدونة دماغية، ونشوء دارات جديدة، مسؤولة على الأرجح عن حالات من الوعي المتغير.

يرى العديد من علماء البيولوجيا العصبية أن التأمل يحسن وظائف عقلية عدة، مثل الذاكرة والوظائف المعرفية أو الاستقرار الانفعالي. وفضلاً عن ذلك، تخفف هذه الممارسة الإجهاد، وتحسن التحمل. وإذا كانت دراسات مختلفة في التصوير بالرنين المغناطيسي وضحت تنشيطاً قوياً لمناطق مختلفة من الدماغ في أثناء جلسات التأمل (القشرة قبل الجبهية، والقشرة الحزامية، واللوزة، والحصين)، فإن ملاحظات أخرى تشير على ما يبدو إلى تنظيم لنشاطات نواقل عصبية عدة. وهكذا، إن زيادة الميلاتونين مرتبطة بالشعور بالهدوء وانخفاض الإحساس بالألم. ويقترن الإطلاق المتزايد للميلاتونين بالإدراك العفوي لصور ذهنية متعددة، الذي ينشط إطلاق الدوبامين والأستيل كولين Acétylcholine، المسؤولين عن الاغتباط والراحة وعن تحسن القدرة على التركيز.

يسير تدريب دماغنا بإثارة بدنية وعقلية جنباً إلى جنب مع تزويده بالأوكسجين والطاقة. وينبغي الحفاظ على الأوعية الدموية وتزويدها بالطاقة. فتنشيط محرك مستعمل قد يكون قليل الفائدة. والحصول على تغذية سليمة أمر أساسي للحفاظ على عصبونات وأوعية دموية في حالة جيدة.

الفصل التاسع

الصحة الذهنية في طبق الطعام

"الذواقة أكولٌ يملك دماغاً"

ب. هـ. هابرمان P. H. Haberman

السكر لتغذية الدماغ: لا كثيراً منه ولا قليلاً

يفضل الدماغ السكر، فهو غذاؤه الأثير. ويرتبط من أجل ذلك بالتزود الدائم بالغلوكوز، الذي يقدمه الطحال وينقله الدم. ومع ذلك، يستهلك الدماغ ١٤٠ غراماً منه كل يوم، أي ما يعادل ٢٨ قطعة، وما يطابق نصف السكر الذي تستهلكه جميع أعضائنا، في غياب جهد عضلي. فكيف يتصرف؟ أولاً، يملك احتياطياً قليلاً جداً، أي الغليكوجين، وهو جزيئة كبيرة يمكن أن تتحطم لإطلاق الغلوكوز. ولو كان ينبغي على الدماغ الارتباط بمثل هذا الاحتياطي لأصبح كبيراً جداً. والواقع أنه يستهلك الغلوكوز عند الطلب، ويحرقه بطريقتين مختلفتين. تكمن الآلية الأولى في انتفاخ الأوعية الدموية. فعندما تنشط شبكة من العصبونات، تتمدد الأوعية المغذية وتقدم مزيداً من الأوكسجين والسكر. ويمكن للدماغ أيضاً أن يستهلك غذاء آخر إن نقص السكر: حامض اللبنيك. ولهذا فإنه يتزود بالغذاء من خلال خلاياه المغذية، وهي الخلايا الدبقية (الخلايا النجمية Astrocytes)، ويبلغ عددها عشرة أضعاف عدد العصبونات في القشرة. ويمكن أن تنتج هذه الخلايا قليلاً من السكر الذي تحرقه جزئياً بإطلاق وسيط هو حامض اللبنيك، مبددة بذلك قدراً قليلاً جداً من الطاقة. تستقبل العصبونات عندئذ حمض اللبنيك ثم تحرقه كلياً بإطلاق الطاقة وغاز الكربون.

ولهذا السبب يستهلك الدماغ كثيراً من الأوكسجين، أي ٢٠٪ من الكمية التي يستهلكها الجسم كله. وتطلق الخلايا النجمية حمض اللبنيك عند الطلب بمجرد أن تنشط العصبونات وتطلق رسالة كيميائية: الغلوتامات. إننا نستهلك الغلوكوز باستمرار، وترتبط نسبة ٨٠٪ من هذا الاستهلاك بإطلاق الغلوتامات وإعادة تدويره. وإذا نشطنا مزيداً من الدارات في منطقة معينة، فإن استهلاك السكر يمكن أن يزيد من ١٠ إلى ٣٠٪، ولكن بطريقة ممركزة، الأمر الذي يمكن أن يمثل حوالي ٢٥٠ وحدة حرارية كبيرة (٢٥٠ ألف حريرة) يومياً في حالة اليقظة. يؤدي هذا المطلب إلى سرعة انخفاض نسبة الغلوكوز في الدم: إذا انخفض إلى أقل من ٠,٥ غرام/ لتر فإن الإغماء مؤكد، وإذا انخفض إلى أقل من ٠,٢٥ غرام/ لتر فإن العصبونات تتوقف عن العمل، والغيبوبة لا تنعكس.

تنتج مختلف الأعضاء وقوداً رخيصاً هو الأسيتون في حال نقص السكر في الدم أو في أثناء الصيام الطويل، أو عندما ننحف. فالأسيتون الذي ينتجه الكبد يمكن أن يحل محل الغلوكوز فيقدم ٦٠٪ من الطاقة الأساسية للدماغ. وتمثل الأحماض الدهنية الناتجة عن ذوبان الشحوم المصدر الأخير للطاقة. لكن الدماغ لا يحب هذا النوع من الطاقة، لأن احتراقها يتطلب مزيداً من الأوكسجين، ولذلك فإنه نادراً ما يستخدمها، فالأحماض الدهنية لا تمثل سوى المصدر الثالث المفيد للطاقة. وفضلاً عن ذلك، إن حرق الغلوكوز في مرجل الخلايا، أو المتقدرة mitochondrie[(١)]، أسرع بثلاث مرات من حرق الحمض الدهني. وفي نهاية المطاف، عندما يجد الدماغ من استهلاك

---

(١) (المُتَقَدِّرَة وجمعها المتقدرات أو ميتوكوندريا Mitochondria أو المصورات الحيوية أو الحُبَيبَات الخَيطِيَّة هي عضيات دقيقة توجد داخل سيتوبلازم الخلايا الحيوانية والنباتية. طولها يبلغ بضع ميكرومترات وعرضها يتراوح من ٠,٥ ميكرومتر إلى ميكرومتر واحد، يحيط بها غشاءان متراكبان، أحدهما خارجي والآخر داخلي . هي مسؤولة عن توليد الطاقة داخل الخلية. وتتم فيها سلسلة تنفس. تنتقل المتقدرات مع البويضة من الأم إلى الابن والابنة . فالأب لا يعطي لأبنائه متقدرات، ذلك لأن الحيوان المنوي لا يحمل متقدرات، ورأسه هي نواة خلية تحوي نصف عدد الكروموسومات من الرجل، وتلتحم بالبويضة لتخصيبها. لهذا يرث الرجال والنساء المتقدرات في خلاياهم من الأم فقط. يرى العلماء بأن المتقدرات هي مركز "توليد الطاقة" للخلية، لأن بدونها لن تستطيع الخلية إنتاج الطاقة اللازمة للحفاظ على حياتها، وهو ما سيتسبب في توقف أنشطة الخلايا الأخرى. حيث تعمل الميتوكوندريا على إنتاج الطاقة داخل الخلية. المترجم).

الأوكسجين من أجل حرق هذا الوقود، فإنه يحد من إنتاج الجزيئات المتأكسدة التي يمكن أن تكون سامة بالنسبة إليه.

الآثار الضارة للإفراط في تناول السكر على الدماغ

تفضل العصبونات إن سمحت الظروف، من أجل التوفير في محروقها الأثير، استخدام اللبنات lactate (ملح الحمض اللبني)، الذي تحصل عليه بسهولة من خلاياها المغذية، أي الخلايا النجمية. ففي حالة فرط السكر في الدم، يملك الدماغ زيادة في الوقود. إن تخزين الخلايا النجمية للغلوكوز محدود جداً، وهو ما يتيح لها إمكانية التخلي عنه للعصبون أو حرقه جزئياً للحصول على اللبنات. فزيادة الغلوكوز الذي تحرقه الخلايا النجمية يطلق نفاية سامة، تسمى الميتيلغليوكسال méthylglyoxal. ويمكن أن يلتصق بالبروتينات الخليوية، وأن يؤدي إلى ظواهر تسمم خليوي.

وإن طالت زيادة السكر في الدم، كما هو الحال في مرض السكر، فإن زيادة نسبة الأنسولين تسهل مقاومة خلايا الدماغ لهذا الهرمون. وهذا يسبب على المدى الطويل التهاباً يضر بالأوعية الدموية، ويقلل الوارد من الأوكسجين، ويضعف العصبونات.

إن الحد بين الأثر المفيد والأثر الضار مسألة توازن. فعندما يحدث الإجهاد يسعى الدماغ للحصول على أثر سريع فيزيد قليلاً من استهلاك وقوده المفضل، أي الغلوكوز الذي يتحكم به بكثير من الذكاء. ففي هذه الحالة، يُنشط هرمون الإجهاد استهلاك الغلوكوز لدقائق عدة، الأمر الذي يحفز تنشيط العصبونات التي تستخدم الغلوتامات، المفتاح الكيميائي الفعال جداً للتذكر أو لاتخاذ قرار سريع. ويعود استهلاك الغلوكوز إلى وضعه الطبيعي بسرعة. والدماغ أقل قدرة على مواجهة زيادة السكر، لأن تطور الإنسان على مدى أكثر من مليوني عام لم يُعّود هذا العضو على العيش في وضع يكثر فيه الوقود، كما هو الحال في مجتمعنا الذي يتسم بوفرة الغذاء.

عندما "يصدأ" الدماغ

بما أن الدماغ يستهلك كثيراً من الأوكسجين، فلا ينبغي أن نستغرب أن تصدأ خلاياه من الداخل، أي أن تتأكسد. كيف يحدث ذلك؟ إن مراجل خلايانا الصغيرة جدا عادة، أي المتقدرات، تحرق كلياً وقودها، مثل الغلوكوز، لإطلاق الماء وغاز الكربون. وتصبح هذه المتقدرات مع توالي

السنين أقل فعالية، ويمكن أن تطلق مشتقات مؤكسدة، يسميها البيولوجيون ROS، وهو مختصر إنجليزي لأنواع الأوكسجين التفاعلية (*reactive oxygen species*)[٢]. ومن هذه المركبات، نذكر الأنيون فائق الأوكسيد، وأحادي أوكسيد النيتروجين أو أوكسيد النيتريك، أو أيضاً فوق أوكسيد الهيدروجين (بيروكسيد الهيدروجين أو الماء الأوكسجيني). ويمكن أن تطلقها بعض الخلايا، وأن تكون مفيدة: يقضي بعضها على الميكروبات في حين أن بعضها يرخي جدار الأوعية الدموية أو أيضاً يثير الذاكرة. وبالمقابل، إن معظم أنواع الأوكسجين التفاعلية التي تنتجها المتقدرات التي تشيخ يمكن أن تؤدي إلى أضرار في الخلية فتؤكسد مختلف مكوناتها (الحمض النووي الريبوزي منقوص الأوكسجين DNA، والليبيدات lipides، والبروتينات) فتحدث بذلك خللاً في آليات عدة أساسية في وظائف الخلية.

ولكن الدماغ احتاط لكل شيء، إذ إنه يتضمن دفاعات لتدمير أنواع الأوكسجين التفاعلية هذه. ومع ذلك، عندما يتم إنتاج هذه الأنواع بكميات كبيرة؛ فإن آليات الدفاع هذه تكون عاجزة. ففي حالة نقص التروية التي تتصف بانغلاق شريان دماغي، على سبيل المثال، تتفاعل الخلايا فتنتج كميات كبيرة من أنواع الأوكسجين التفاعلية التي تنشط الخلايا النجمية ومختلف الخلايا في الدماغ، فتسهل بذلك موت العصبونات والتهابها. يتعلق المثال الثاني بمرض ألزهايمر. فبتأثير عدد من العوامل (ارتفاع الضغط الشرياني، وزيادة الوزن، ومرض السكر) تتراكم بروتينات وليبيدات متأكسدة. وتؤدي هذه المركبات شيئاً فشيئاً إلى التهاب ينتج عنه إجهاد العصبونات وتنكسها التدريجي. وبالمثل، يلاحظ في الاكتئاب الذهني المستمر إطلاق إشارات التهابية تخل بالتوازن الدقيق للمفاتيح الكيميائية للدماغ، لا سيما الدوبامين والسيروتونين.

كيف يتم منع التراكم الضار لأنواع الأوكسجين التفاعلية هذه أثناء الشيخوخة؟. إنه سؤال صعب. يمكن طبعاً تخيل دفاعات سريعة مضادة للأكسدة: الوراثة، وإن كنا محظوظين، خلايانا التي تتأكسد بسرعة أقل. ويمكن الحد من الكرب، وتجنب الإطلاق المفرط لأنواع الأوكسجين التفاعلية. يمكن أيضاً التغذي بالفواكه والخضار الغنية بمضادات الأكسدة. فمفعولها يعزز مقاومة "الصدأ"

---

(٢) بالفرنسية (DRO) Dérivés réactif de l'oxygène.

ولا يؤثر في تطور شيخوخة الخلايا، لكنها تطيل متوسط العمر المتوقع على الأرجح وبدرجة كبيرة. فما الأسباب؟

تنتج خلايانا مع تقدم العمر وعلى على نحو متزايد، حتى لو بقيت دفاعاتنا المضادة للأكسدة ناجعة، مؤكسدات فعالة يمكن لمضادات الأكسدة الطبيعية من غذاء طبيعي أن تعيقها، وأن تمنعها. ويساعد نظام غني بشكل منتظم بالبوليفينولات polyphénols مضادات الأكسدة المتنوعة الموجودة في الفواكه والخضار على الحد من تنكس العصبونات. تضم البوليفينولات في الواقع أكثر من ٦٠٠٠ جزيئة، موجودة بشكل أساسي في المنتجات النباتية، مثل الفواكه الملونة، والخضار، والتوابل، والحبوب. ولا يقتصر تأثيرها على إعاقة أو منع المؤكسدات الفعالة؛ إذ إنها تملك العديد من الآثار الإيجابية في بقاء العصبونات وحمايتها من الإجهاد.

ومع ذلك، إن آثار البوليفينولات الإيجابية بشكل عام معقدة، وتلاحظ في مختلف الأهداف الخليوية. ففي مستوى عال من التركيز، تترك أثراً معيقاً في المؤكسدات الفعالة. وبجرعات ضئيلة جداً، تترك آثاراً في العديد من الإشارات التي تصدرها الخلايا الدبقية والعصبونات. تشير دراسات عدة إلى أنها تحد من إنتاج بعض الإشارات الالتهابية، التي تنشطها بسهولة زيادة الشحوم أو السكريات في تغذيتنا. وفضلاً عن ذلك، تثير مختلف البوليفينولات إطلاق عوامل النمو، المسؤولة عن المشابك العصبية وإعادة قولبتها، وعن زيادة تدفق الدم أو أيضاً تكون أوعية دموية جديدة. إنها تمارس في نهاية المطاف أثراً حمائياً عصبياً، وتُسهل بذلك مقاومة الدماغ ليس لآثار الشيخوخة وإنما للإجهاد الخليوي الذي تسببه مختلف مكونات التغذية أو البيئة.

هل تشكل مضادات الأكسدة الطبيعية في تغذيتنا علاجاً فعالاً لحماية قدراتنا الذهنية؟ إنها ليست بالتأكيد مكونات خارقة تُنشط ذاكرتنا أو تحافظ على شبابنا إذا ما توفرت بجرعة كبيرة. برهنت دراسات عدة على الفأر، الذي أعطي جرعة بنسبة ١٪ من المكون الغذائي، أن بعض البوليفينولات المستخرجة من التوابل والخضار أو الفواكه الحمراء عززت قدرات الذاكرة المكانية. وأما لدى الإنسان، فإن النتائج أكثر تبايناً، ولكن حقن جرعة من ٠,٥ إلى غرام واحد يومياً مقترنة بمصدر غذائي متنوع جداً أظهرت أن البوليفينولات تترك أثراً يحمي من فقدان الذاكرة المرتبط بآثار الإجهاد الخليوي. ومع ذلك، يتم امتصاصها بشكل ضعيف، ويكون انتقالها إلى الدماغ أكثر فعالية

إن تعلق الأمر ببوليفينولات طبيعية غذائية. فأكثر البوليفينولات المستهلكة هي كاتيشينات catéchinesالمشروبات الساخنة (الشاي والقهوة)، وفلافونويدات flavonoids العديد من الفواكه (الحمضيات، والفواكه الحمراء)، والمغذيات الموجودة في الشوكولا، والجوز واللوز، أو أيضاً العنب الأحمر. وبما أنها لا تخزن، فإن هضمها المنتظم والمستمر هو الذي يترك أثراً إيجابياً في الدماغ والصحة الذهنية.

غاز مدهش لتحفيز الذاكرة

اكتشف العلماء منذ سنوات عدة غازاً هو غاز أكسيد النتريك الذي تنتجه خلايا مختلفة، والذي له خواص مفيدة جداً. يترك هذا الغاز الذي تطلقه أوعية دموية شعرية أثراً مهدئاً يسهل اتساع الأوعية، وأكسدة أفضل للأعضاء، مثل الدماغ. وفضلاً عن ذلك، برهن البيولوجيون على أنه يتصرف مثل معدل للذاكرة، وللعديد من الوظائف الدماغية الأخرى. فعندما درسوا تأثير هذا الغاز في الحصين لدى الفأر، اكتشفوا أثره السريع في إثارة الشبكات المشاركة في الذاكرة المكانية. ويسهل هذا الغاز النشاط الكهربائي للعصبونات بإثارة إطلاق الغلوتامات، وهو ناقل عصبي منشط للعصبونات. يزيد هذا الأثر السريع لأكسيد النتريك ذاكرتنا الفورية أثناء الإجهاد الحاد. ويترك إطلاق هذا الغاز بعد ذلك أثراً منظماً للإجهاد فيخفض إطلاق النورادينالين.

الوسيلة الوحيدة لتفادي "صدأ" الدماغ هي من الناحية المنطقية، الحد من إنتاج أنواع الأوكسجين التفاعلية طوال فترة النضج من الحياة، فالوسيلة الأكثر نجاعة هي تخفيض الوارد الغذائي، واتباع حمية من وقت لآخر (مرتين إلى ثلاث مرات لمدة أسبوعين في العام). ويكفي تخفيض الوارد من الحريرات اليومية بنسبة ٢٥٪، الأمر الذي يتطلب جهداً حقيقياً، والذي يتضح أثره الإيجابي بالنسبة إلى الدماغ. فالغذاء لا يتوفر باستمرار لدى العديد من الأنواع، وينبغي عليها أن تشعر بالجوع لتركض بحثاً عن الطعام. فنوبات الجوع هذه تُنبه الدماغ وتُنشطه تنشيطاً قوياً. وبالمثل، كانت حياة أسلافنا من الصيادين-القطافين مكونة من فترات نشيطة من الصيد والوفرة الغذائية، تتخللها فترات من التقنين يمكن أن تستمر يومين أو ثلاثة أيام. ولا يثير هذا التناوب بين الوفرة والنقص في الغذاء النشاط البدني فحسب، بل ينظم أيضاً العديد من الوظائف الدماغية. وقد قدم الفأر الدليل، إذ أثار التناوب بين النظام الغذائي بسعرات حرارية اعتيادية والنظام الغذائي بسعرات

حرارية ناقصة تخلق النسيج العصبي في الحصين، ونشط بقاء العصبونات. وتحصل هذه الحيوانات على أفضل النتائج في أثناء التمارين التي تستخدم فيها ذاكرتها المكانية.

يكتشف الدماغ ثلاثة أنماط من الإشارات في أثناء التغيرات المنتظمة في الوارد من الحريرات: إثارة إطلاق عوامل التغذية العصبية المستمدة من الدماغ BDNF، وتعزيز الدفاعات المضادة للأكسدة، وحماية إشارات مثل الأسيتون والإيريزين للعصبونات وتعزيزها لتجدد المشبكات العصبونية. ففي عالمنا المعاصر الذي يتسم بالوفرة، يحرق الدماغ باستمرار الوقود الذي يرده، ويولد مزيداً من أنواع الأوكسجين التفاعلية، وينتج عوامل تغذية عصبية مستمدة من الدماغ بشكل أقل. يسهل ذلك زيادة الوزن بشكل تدريجي، وخطر الإصابة بالبدانة ومرض السكر، مع التهاب تدريجي للنسيج الدماغي يسهل خطر ظهور أمراض تنكسية عصبية.

أسطورة أوميغا -٣

بدت الأوميغا-٣ الشهيرة، وهي أحد الأحماض الدهنية غير المشبعة، واعدة جداً بالنسبة إلى الصحة. ومع ذلك، فإن المهم على وجه الخصوص في التغذية هو التوازن الشامل لتوزع الشحوم غير المشبعة. ونشهد منذ سنوات عدة خللاً بين الوارد الكبير جداً من الدهون المشبعة والوارد غير الكافي من الدهون غير المشبعة. تسهل التغذية الصناعية هذا الخلل بإضافة العديد من الدهون الخفية التي تحسن الطعم والاستساغة، أي قدرة الطبق على التأثير على حليمات التذوق بسرعة أكبر. وفيما يتعلق بالنتائج العديدة لتوازن جيد للدهون الغذائية على ميوعة الدم وحماية الأوعية الدموية، عكفت دراسات عدة على تأثير الأحماض الدهنية غير المشبعة في صحة الدماغ.

وهكذا، تعتبر الاوميغا-٣ ضرورية لفترة حرجة في نمو الدماغ، بين الثلث الثالث من الحمل وعمر سنتين، وهي فترة ينشأ فيها عدد كبير من الوصلات العصبية. يتطلب نمو الدماغ بعض الدهون التي يصعب إنتاجها فيحصل عليها عندئذ من الغذاء. إن وارد الأحماض الدهنية أوميغا-٣ يسهل تكون المشبكات العصبونية وعملها. وإن كل نقص واضح (٣٥٪ أو أكثر) مقارنة بوارد كاف ناجم عن غذاء متنوع من الدهون الحيوانية والنباتية يترجم بدليل على نمو

ذهني منقوص، وتأخر في النمو الحركي النفسي للطفل، يمكن اكتشافه منذ عمر سنتين. وبالمقابل، إن الوارد الإضافي من أوميغا-٣ لدى طفل تمت تغذيته بشكل طبيعي بهذه الأحماض الدهنية ليس له أي تأثير على قياس هذه الأدلة المتعلقة بالنمو الحركي النفسي.

إن الاسطورة التي تحيط بأوميغا-٣ ناجمة عن دراسات مختلفة أشادت بأفضالها في تقوية الذاكرة، وفي مقاومة فقدان الذاكرة لدى الشخص المسن. وقد نشرت مئات الدراسات، أجري كثير منها على مجموعات قليلة العدد من الأشخاص بحيث لا يمكنها توفير احصائيات موثوقة. وقد أنجز فريق تشانكوان تشوهو Shankuan Zhu، في جامعة تشيجيانغ Zhejiang في الصين، تحليلاً يشرح ٣٤ دراسة تضم ١٣٠٠٠ شخص من أعمار مختلفة، لقياس آثار تغذية غنية بالأوميغا-٣ على نتائج الاختبارات المعرفية وتقييم القدرات الذهنية. وقد لوحظ لدى اليافع والراشد غياب أي أثر لزيادة المكملات الغذائية بالأوميغا-٣ على اختبارات الذكاء، أو على سرعة التفكير أثناء حل مشكلة معينة. فالنتائج التي تم الحصول عليها لمجموعة بلغ عددها ٦٨٠٠ شخص (متوسط أعمارهم ٧١ سنة) تبرهن على تحسن مهم للقدرة على الانتباه، وعلى أنه لم يكن هناك أثر في مجمل اختبارات الذاكرة المستخدمة تقليدياً (اختبار الحالة العقلية المصغر MMSE[٣] أو التقييم المعرفي الذي يقاس بمقياس تقييم مرض ألزهايمر المعرفي ADAS-Cog[٤]).

لا تتيح هذه النتائج تأكيد أن الأوميغا-٣ ليس لها أي أثر إيجابي، لأن إعطاء جرعة أكبر للحيوان، يترك أثراً واضحاً مضاداً للالتهاب في الخلايا النجمية للدماغ. وتؤثر الأوميغا-٣ على الأرجح أيضاً في ميوعة دهون الخلايا، وفي فعالية مختلف المفاتيح الكيميائية للدماغ، مثل الغلوتامات.

---

(٣) اختبار Le *mini-mental state* (MMS) ou *mini-mental state examination* (MMSE) ou test de Folstein) فلوشتاين أو اختبار الحالة العقلية المصغر (MMSE) هو اختبار الحالة العقلية للمسنين يتألف من مجموعة من الأسئلة التي تتعلق بمعلومات عن الشخص نفسه والزمان والمكان وبعض المعلومات العامة، مع وضع درجة معينة لكل إجابة ثم تحديد الحالة العقلية بعد رصد مجموع درجات الإجابة...المترجم).

(٤) (The Alzheimer's Disease Assessment Scale-Cognitive subscale. المترجم).

الأوميغا-٣: هل هو علاج مدهش للقلب والدماغ؟

غالباً ما يتم إخبارنا بفائدة الوارد الغذائي من أحماض أوميغا -٣ الدهنية لصحة القلب والأوعية الدموية. والواقع أن الخطر المتعلق بمشكلة تاجية أو بحدوث متلازمة أيضية (زيادة الوزن مقترنة بزيادة الكوليسترول في الدم) ينخفض انخفاضاً طفيفاً لدى الأشخاص الذين يقدم غذاؤهم بانتظام حوالي ١ غرام يومياً من الأحماض الدهنية المتعددة غير المشبعة أوميغا-٣.

والواقع أن التوازن بين نوعين من الأحماض الدهنية غير المشبعة هو على الأرجح الذي يجب أن يكون على النحو الأمثل في الغذاء، وأن غذاءنا الغني بالدهون يورد غالباً أوميغا-٦ تعادل أكثر من ١٥ إلى ٢٠ ضعفاً من أوميغا-٣. ويسهل هذا الخلل إنتاج إشارات التهابية في الأوعية الدموية والدماغ في آن واحد.

ومع ذلك، إن وارداً من أوميغا-٣ الإضافي على شكل مكمل غذائي لدى البالغ لا يمثل أي فائدة خاصة عندما يكون الغذاء متوازناً. وبالمثل، أثبتت دراسات عدة أن الأوميغا-٣ لم يكن لها أثر مهم في علاج الاكتئاب أو تنشيط الذاكرة.

إن لم تشكل الأحماض الدهنية أوميغا-٣ علاجاً لترميم عصبوناتنا، فإن إسهامها المنتظم في غذاء ذي وارد محدود من الدهون مفيد بلا جدال من أجل مقاومة تنكس العصبونات. وهذا ما يتم الادعاء به عندما تتم الإشادة بمنافع نظام غذائي متوسطي أو كريتي[٥]. إن الأوميغا-٣ هي أحد عناصر التوازن الغذائي الشامل، الذي ينبغي أن يتضمن أيضاً العديد من مضادات الأكسدة ومغذيات تحمي الجهاز العصبي، وهي موجودة في الفواكه والخضار. يوافق هذا التوازن الغذائي غالباً نمط حياة نشيطة وغير ساكنة. فالأوميغا-٣ ليست سوى أحد عوامل الصحة البدنية الجيدة والغذاء المتوازن.

الفيتامينات، والمنبهات، والمؤثرات العقلية: ما فائدتها للصحة العقلية؟

يوجد العديد من الفيتامينات، وكلها ضروري لعمل خلايانا، بما في ذلك الدماغ. ومع ذلك، لا يحتاج الدماغ لواردات من الفيتامينات الخاصة لعمله لدى البالغ. فخلال الحمل، ولدى الرضيع، تعتبر الاحتياجات من الفيتامينات أساسية لنمو شبكات العصبونات ووصلاتها نمواً

(٥) (نسبة إلى البحر الأبيض المتوسط ، وإلى جزيرة كريت، أكبر الجزر اليونانية وخامس أكبر جزيرة في البحر الأبيض المتوسط. المترجم).

جيداً. إن الفولات (حمض الفوليك)، المشتقة من الفيتامين ب٩، وفيرة في أنواع عدة من الأغذية، مثل اللحم و الكبد، وفي البقول، والخضار الخضراء، والأجبان. وإن وارداً منتظماً من الفولات أساسي طوال فترة الحمل بهدف تسهيل نمو صحيح للدماغ.

ينبغي أن يرافق هذه الفولات وارد من فيتامين ب١٢ (كوبالامين)، فهذان الفيتامينان اللذان يؤثران معاً ليس من أجل نمو الدماغ خلال الحمل فحسب، بل أيضاً من أجل تكوين وصلات عصبونية، لا سيما في أثناء السنوات الثلاث الأولى من عمر الطفل. إن فيتامين ب١٢ غير متوفر تقريباً في النباتات، ولكنه موجود في اللحم، والقواقع، والسمك، والبيض، وإن النمو النفسي الحركي للطفل يرتبط أيضاً بوارد كاف من هذين الفيتامينين.

هل تفيد الفيتامينات في الوقاية من التدهور المعرفي؟ أثبتت دراسات مختلفة ارتباطاً بين ضعف الأوعية الدموية والأثر السمي لزيادة الحمض الأميني، الهوموسيستين Homocysteine. وبشكل غير مباشر، يختفي هذا الأثر أو يخف بشكل كبير بتناول الفولات وفيتامين ب ١٢بشكل منتظم. وبالنتيجة، ترتبط المحافظة على جودة الأوعية الدموية أيضاً، في ما وراء فترة نمو الدماغ، بتغذية كافية بالفيتامينات من المجموعة ب.

فيتامين C، منبه للدماغ: أسطورة أم واقع؟

يوجد فيتامين C على وجه الخصوص في الفواكه والخضار، ويتمتع غالباً بالعديد من المزايا. فالدماغ، وهذا صحيح، يستهلك الكثير منه، ويستخدم خصائصه المضادة للأكسدة، كما سبق أن رأينا. ويتدخل أيضاً في صنع مختلف المفاتيح الكيميائية للدماغ، مثل الأدرينالين أو الدوبامين. ومع ذلك، فإن نقصاً في الوارد منه بنسبة ٣٠ إلى ٥٠٪على الأقل خلال أسابيع عدة يؤدي إلى حدوث اضطرابات في الاستجابة الدماغية. وإن وارداً يومياً منه بمعدل ٣٠ ملغم كاف للصحة لدى معظم الناس، ولكن يعتقد كثيرون أن مكملاً من ٥٠٠ إلى ١٠٠٠ ملغم يقوي دماغهم وينشطه. والواقع أن جرعة مفرطة من فيتامين C لا تزيد السهر، ولا تؤدي إلى اضطرابات النوم، وليس لها أي أثر منشط على القدرات المعرفية. فالدماغ يستهلك الكمية التي يحتاجها، ويستبعد الفائض الذي لا يُخزن، والذي يتم التخلص منه عن طريق البول.

وبالمقابل، توجد مواد مختلفة معروفة بآثارها المنبهة، مثل الشاي، والقهوة، ومشروبات الطاقة. فكيف تؤثر، وما آثارها في السهر، والحيوية، والقدرات الذهنية؟ تحتوي هذه المشروبات على

مواد ملونة غنية بالفلافونويدات التي تملك خصائص مضادة للأكسدة، وأيضاً بالكافيين، وهي مادة قابلة جداً للذوبان، وتركيزها في القهوة أعلى بقليل من تركيزها في الشاي (يمثل كوب من القهوة الثقيلة حوالي ١٠٠ ملغم من الكافيين في مقابل ٣٠ ملغم في كوب الشاي). وتترك الفلافونويدات أثراً منشطاً في الأوعية الدموية للدماغ فتضيق قطرها، وتزيد بذلك التروية الدموية، لا سيما في القشرة.

يفسر الكافيين قسماً كبيراً من الخصائص المنبهة لهذه المشروبات. فهو ينشط سرعة التفكير وفعالية الذاكرة العاملة، ويعزز الانتباه ويحسن التنسيق الحركي. ومن آثاره الأخرى المعروفة جيداً زيادة السهر وتقليل خطر النعاس، الذي يحصل بممارسة أثر كابح على مفتاح كيميائي خاص للدماغ هو الأدينوزين Adénosine[٦]. فهو الذي يجعلنا ننام عندما نكون في حالة من التعب الشديد. ويتم إطلاقه عندما تكون خلايانا مرهقة ولم يعد بوسعها العمل بمردودية مثالية. يفرض علينا الأدينوزين عندئذ توقفاً، وينقص قوة عضلات العنق، ويحثنا بسرعة على النوم قليلاً. وفي غضون ٢٠ دقيقة، يوقف الكافيين الموجود في كوب، لا بل في كوبين من القهوة، تأثير الأدينوزين في مستقبلاته فيقلل بذلك من أثره المحرض على النوم.

---

(٦) (يقوم الكافيين بوظيفة الأدينوزين adénosine وهو مادة يفرزها المخ على مدار اليوم، وتلعب دوراً مهماً في تحفيز النوم، حيث تقلل من نشاط الخلية العصبية. ويعمل الجهاز العصبي على مراقبة نسبة الأدينوزين من خلال مستقبلات A1 التي توجد في الدماغ وجميع أنحاء الجسم، حيث تمر المادة خلال المستقبلات وتزداد بزيادة رغبة الشخص في النوم. ويمر الكافيين في الخلايا العصبية عن طريق المستقبلات لكنه لا يعمل على تنشيطها وهذا يؤدي إلى إيقاف إفراز مادة "النوم" الأدينوزين. ولا يتوقف دور الكافيين في ذلك فقط، حيث يعمل أيضاً على إيقاف الدوبامين والغلوتامات الموجودين في المخ، وهذا يؤثر سلبياً حيث تتوقف العديد من المواد الكيميائية عن القيام بوظيفتها بشكل صحيح. بعبارة أخرى لا يعمل الكافيين على تحفيز المخ أو تنشيطه، بل يعمل على إيقاف مواد أخرى وظيفتها تقليل النشاط. المترجم).

القهوة: مثيرة، ومنبهة أحياناً، ولكنها حامية للعصبونات أيضاً

الكافيين الموجود في الشاي والقهوة هو المادة المنشطة الأكثر استهلاكاً في العالم. فجرعة منخفضة منه مقدارها حوالي ٤٠٠ ملغم يومياً تعزز فاعلية اتصالات مختلف الشبكات العصبونية، وتنشط الانتباه، والذاكرة الفورية، والذاكرة العاملة، وتزيد السهر، وتقلل النعاس. إن استهلاكه بشكل منتظم ومستمر، يترك أثراً حمائياً عصبياً فيقلل من الأثر السمي لزيادة أحد المفاتيح الكيميائية للدماغ، ألا وهو الغلوتامات. وبصفته تلك، يُعتبر مفيداً، ويحد من بعض ظواهر تنكس العصبونات المرتبطة بالعمر. وإن جرعة قوية منه، أي أكثر من ١٠٠٠ ملغم تقريباً يومياً يمكن أن تترك آثاراً ضارة، تتجلى بسرعة الغضب، والتهيج، والاختلاج، والرجفان، واضطرابات التنسيق الحركي، التي يمكن أن تصل إلى التشوش الذهني.

يقلل الإفراط في استهلاك الكافيين في نهاية اليوم النوم العميق ويفسده، ويمكن لا سيما لدى اليافع، أن يخل بحسن سير نضج الدماغ.

تحتوي المشروبات المنشطة على مواد منبهة مثل الكافيين، والتورين، وغالباً أيضاً مستخلصات نباتية مثل كافا–كافا kava-kava[٧]، التي تملك خاصية مخدرة. ويمكن أن نجد فيها أيضاً مستخلصات من حبوب الغوارانا guarana[٨]، التي تتكون مادتها الفعالة من الكافيين أيضاً. وتستهلك هذه المشروبات بشكل عام بجرعات متوسطة من الكافيين (أي ما يعادل كوباً من القهوة في القارورة)، ويمكن أن تحتوي أيضاً كمية من التورين الزائد، أي ١غ في القارورة. والتورين مادة يقدمها الغذاء بكمية متوسطة تقل عن ٢٠٠ ملغم يومياً. وتترك أثراً مضاداً للأكسدة في العصبونات. وأما جرعة أقوى منها فنتائجها تشبه نتائج تناول جرعة قليلة من الكحول، بسبب تحفيز إطلاق مفتاح كيميائي دماغي: حمض الغاما–أمينوبيوتيريك

---

(٧) (كافا – كافا (الفلفل المسمّم)، باللاتينية : Piper methysticum، وهي نبتة يكثر محصولها في مناطق غرب المحيط الهادئ. المترجم).

(٨) (غوارانا أو البولينيا الكأسية *Paullinia cupana* نبات أصله من منطقة الأمازون البرازيلية. تعرف عليها الأوروبيون في القرن الثامن عشر، ويرجع الفضل لعالم النباتات الألماني بوليني F. C. Paullini. تتميز بذرتها بتركيز عالٍ لمادة الكافيين لتعرف بذلك عالمياً. ولهذه الخاصية المنبهة فإنها تستهلك بصور متعددة، على شكل بذور مجففة أو مسحوقة ومذابة في ماء أو عصير فاكهة. يستعمل نبات غوارانا في طب الأعشاب كمحفز لقدرات المخ نظراً لتركيز الكافيين العالي فيه. في البرازيل يعد منه مشروب صودا يحمل اسم النبات معد من مستخلصاته. كما للمادة استخدامات أخرى للتخسيس، وتخفيف الوزن فهي ماده حارقة ومذيبة للدهون والشحوم. المترجم).

Acide γ-aminobutyrique (GABA)(٩). يمكن أن ينشط التورين والكافيين بجرعة قوية إطلاق هرمونات الإجهاد فيثيران التهيج، والانفعال، والخفقان، ويمكن أن يصل الأمر للتشوش الذهني واضطرابات التنسيق الحركي.

يمكن أن يجلب أيضاً وجود مستخلصات نباتية في مشروبات مختلفة مثل الكولا أو مشروبات الطاقة الأخرى تربينات terpènes، وهي مركبات توجد في راتنج النباتات، وتترك أثراً مضاداً للقلق على المدى القريب، يحد قليلاً من الإثارة الناجمة عن الكافيين المتحد معها. وهذه الآثار مرتبطة غالباً بزيادة معدل حمض الغاما-أمينوبيوتيريك الدماغي. وهناك مستخلصات أخرى، مثل صابونين الجنسنغ، تُنشط الذاكرة، لها أثر مضاد للتعب وللقلق. وهذا ناتج جزئياً عن تأثيرها على إنتاج أكسيد النتريك في الدماغ، وهو غاز مثير للذاكرة. فالضرر الذي تنطوي غالباً عليه مشروبات الطاقة هو ضرر كل المؤثرات العقلية. وإذا أخذت بطريقة منتظمة وبجرعة قوية، فإنها تؤدي إلى التعود عليها. والواقع أن زيادة الكافيين تقلل كمية مستقبلات الأدينوزين الذي يتوقف عندئذ تأثيره (معدل عصبي) في إنتاج الدوبامين والغلوتامات الموجودين في المخ. وهكذا، عندما نتوقف فجأة عن استهلاك مثل هذه المشروبات، يمكن أن تحدث حالة من الحرمان والانفعال، والرجفان، والقلق. ويزيد خلط هذه المشروبات مع الكحول من خطر التعلق بها.

ينبغي إذن أن نخلص إلى أنه لا توجد جرعات سحرية لتحفيز قدراتنا الذهنية أو أيضاً لتعديل كيمياء الدماغ. فالأثر المعتدل لبعض المنبهات يمكن أن يكون مفيداً على مدى فترة قصيرة، إذ إن الدماغ قادر بعد ذلك على التعويض بالراحة والنوم. وإن عمل الدماغ وهذه الشبكات يرتبط بتوازن دقيق بين عمل العديد من المفاتيح الكيميائية الطبيعية التي تنظم حياتنا اليومية مع فترات توقف أو راحة. وإن الإخلال بهذه التوازنات بإثارة تطلقها مؤثرات عقلية يمكن أن يكون ضاراً على المدى البعيد، وأن يؤدي إلى عكس الأثر المتوقع، ألا وهو تدهور صحة الدماغ.

---

(٩) (حمض غاما -أمينوبيوتيريك أو غابا GABA اختصاراً هو الناقل العصبي المثبط الرئيس في الجهاز العصبي المركزي في الثدييات. حيث يلعب الدور الرئيس في الحد من استثارة الخلايا العصبية في جميع أنحاء الجهاز العصبي. في البشر، جابا هو أيضاً المسؤول المباشر عن تنظيم العضلات. المترجم).

يخضع الدماغ أيضاً لضرورة النمو المستدام. وينبغي له أن يدير شبكاته، وأن يوفر ويرمم نفسه من دون الإكثار من توجيه المطالب للأعضاء الأخرى. وكما سنرى في الفصل القادم، فإنه يستخدم وقتاً خاصاً من أيامنا، وهو وقت أساسي لصحته: إنه النوم.

الفصل العاشر

الدماغ في عصر التنمية المستدامة

"درب المساواة. – يجعل صعود الجبل لمدة ساعة من النذل
والقديس مخلوقين متشابهين تقريباً. فالتعب هو الدرب الأكثر
قصراً إلى المساواة والأخوة– وخلال النوم، يفضي الأمر
بالحرية بإضافتها إليهما".

فريدريك نتيشه Friedrich Nietzsche، *إنساني، ومفرط في إنسانيته*، ١٨٧٨

ينطوي الدماغ على نوعين من السلوكيات، يمكن التعرف عليهما بسهولة: اليقظة التي يدير خلالها نشاطات عدة، والنوم الذي يكون فيه خاملاً ظاهرياً. وعندما نفكر في ذلك، نقول ما هو إلا مضيعة للوقت! ولكننا نحتاج للنوم. يهيمن منظمان أساسيان على سير إيقاع النوم واليقظة هذا خلال ٢٤ ساعة: ساعتنا البيولوجية وحاجة العصبونات الطبيعية لـ" التعويض" خلال النوم. ويعني ذلك أن ساعة داخلية تحثنا على النوم في الوقت نفسه تقريباً كل يوم، وأنها تقوم بعملية عكسية كل صباح. ولكن إن قاومنا من أجل البقاء في حالة اليقظة، فإن آلية أخرى تجبر العصبونات على الراحة للتعويض، ولإعادة ضبط عملها، والتخلص من الفضلات، وإعادة تكوين احتياطي من الطاقة في آن واحد. فالعصبونات على هذا النحو نصيرة للتنمية المستدامة.

يحاول العديد من علماء البيولوجيا العصبية اكتشاف وظيفة النوم الحقيقية وليس آلياته. وإذا قارنا فترة النوم حسب الأنواع، فإننا نكتشف أن الحيوانات الصغيرة تحتاج للنوم أكثر من الحيوانات الأكثر ضخامة. وفضلاً عن ذلك، تعاني آكلات العشب التي تعيش تحت وطأة تهديد طردها بواسطة الحيوانات المفترسة من نوم غير منتظم. والنوم مفيد أولاً من أجل إنقاص حرارة الجسم، وتسهيل

الخمول العضلي، واستهلاك طاقة أقل. فالتقليل من استهلاك الأوكسجين يتيح للعصبونات إنتاج مؤكسدات فعالة أقل. وتنشط دارات العصبونات خلال مراحل الحلم وترمم نفسها خلال مراحل النوم العميق، الأمر الذي يبدو ضرورياً لكي تعمل مثل دارات جديدة في اليوم التالي، سواء بالنسبة للنشاط الحركي، أو الذاكرة ، أو التفكير.

الليل: بيئة الدماغ

يغير كثير من الأشخاص في مجتمعاتنا التي تنمي الإنتاجية في العمل ساعتهم البيولوجية من أجل الحد من فترة النوم. ويكفي من أجل ذلك تخفيف أثر المفاتيح الدماغية التي تطلق الرغبة في النوم، مثل الأدينوزين. فبعد خمس ساعات من النوم يكفي أن نستيقظ على صوت المنبه. وبشكل عام، إذا مارسنا هذا السلوك خلال أسابيع عدة، وذلك بإطالة فترة السهر لتأخير وقت النوم، فإن ذلك يؤدي إلى تأثيرات جانبية، أي نتائج يمكن اكتشافها بسهولة على المدى القريب، ونتائج أخرى أكثر سوءاً، تهدد الصحة على المدى البعيد. إن الساعة البيولوجية الداخلية للدماغ منطقة صغيرة بحجم رأس الدبوس تقع تحت المهاد (الوطاء) الذي ينسق وقت النوم تحت تأثير انخفاض الإضاءة بشكل رئيس فينشط إطلاق هرمون الليل، أي الميلاتونين. ويتم إطلاق هذا الهرمون بدءاً من الساعة العاشرة، ويصل حده الأقصى في الساعة الثالثة، ويعود إلى حده الأدنى في الساعة الثامنة، وهو وقت يقوم فيه الكورتيزول بدوره في إيقاظ خلايانا وحثها على البدء في العمل.

يتأثر الدماغ أيضاً، فيما يتعلق بتأثر انخفاض الإضاءة، بإشارة ثانية للتعب، تحفز النوم فعلياً: الأدينوزين. يتم إطلاق هذا الهرمون عندما تكون خلايانا مرهقة. فهو الهرمون الذي يتم تثبيط أثره بسهولة كبيرة بتناول المشروبات المنبهة مثل القهوة. يُضعف الأدينوزين بشكل مباشر عمل العصبونات المسؤولة عن الانتباه والسهر ومفتاحهما الكيميائي الأستيل كولين acétylcholine. وإذا أجبرنا الدماغ على البقاء يقظاً، فإنه يستطيع أن يطلق إشارات إنذار أخرى، مثل أوكسيد النتريك، الذي يعزز إطلاق الأدينوزين. ويمكن أن يستخدم الدماغ أنظمة عدة لإطلاق النوم، ومساعدة العصبونات على استعادة جميع قدراتها.

هل النوم مفيد؟

يحتاج الإنسان إلى النوم، مثل معظم الأنواع. تجبر إشارات مختلفة الدماغ على تغيير الإيقاع ليتفرغ لوظيفة أخرى من وظائفه: النوم. وليس النوم نقيض اليقظة، إذ تقترن بعض المراحل بعمل نشيط لمختلف الدارات. فالنوم مفيد في أشياء كثيرة: إنه يقلل من استهلاك الطاقة، ويسهل لدونة عصبونات القشرة، ويصلح دارات الذاكرة، والانفعال، والحركة، ليهيئ دماغنا لبدء يوم جديد في حالة ممتازة. يتصادف النوم عادة مع اليقظة لأن ساعة بيولوجية يضبطها الضوء تطلق الرغبة في النوم واليقظة. وإضافة إلى الأثر المنظم في عمل الدارات، يساعد النوم على تنشيط مفاتيح الدماغ الكيميائية الضرورية لتنظيم انفعالاتنا وإدارة الإجهاد. وأخيراً، يُسهل النوم التخلص من الفضلات الخليوية، مثل الببتيد الأميلويد peptide amlyoide.

يتلقى الدماغ، من أجل إتاحة التوازن بين فترات اليقظة وفترات النوم، معلومات مصدرها العين التي تلتقط الضوء. ففي قاع الشبكية، تُعلم بعض الخلايا المتخصصة ساعتنا البيولوجية بشكل مباشر بتناوب النهار والليل. ومع ذلك، إن الدماغ بارع لأنه يُعلم أيضاً مركز التنبيه (الموضع الأزرق)[1] والدماغ الانفعالي (اللوزة) بكمية الضوء التي تلقاها من الخارج. وهكذا، إن الضوء لا يضبط فقط تناوب اليقظة/ النوم فحسب، بل يؤثر أيضاً في درجة يقظتنا وفي مزاجنا. وتقوم هذه الساعة بدور مهم أيضاً في عمل العديد من الغدد التي تفرز الهرمونات، مثل الأنسولين، والكورتيزول أو هرمون النمو. والهدف هو المحافظة على تزامن جيد لساعتنا الداخلية مع شدة الضوء. ويمكن للمحافظة الطويلة على شدة الضوء الاصطناعي أن تُخل بنظام هذه الساعة. فتأثيرها في أدائنا الدماغي والمعرفي يرتبط أيضاً بعمل الجينات التي تنشطها. ثمة أشخاص في الواقع قادرون على الاستيقاظ بسرعة، والبدء بالعمل باكراً في الصباح، وأشخاص يبدؤون يومهم بشكل أكثر بطئاً، ولكنهم يقدمون إنجازاً معرفياً أفضل خلال السهر. فالشجاعة و/ أو الكسل محددان غالباً بعوامل وراثية.

تعمل ساعتنا البيولوجية وفق إيقاع دقيق، خاص بكل منا، أي أنها تتكرر من يوم لآخر بفارق ٢٠ دقيقة تقريباً. درس فريق مايكل بارسونز Michael Parsons، من جامعة أكسفورد، متغيرات الجين PER2 والجين PER3، المسؤولين عن عمل هذه الساعة لدى ٩٥٠ شخصاً بالغاً. وقد لاحظ الفريق أن المتغير GG للجين PER3 هو أكثر شيوعاً بشكل ملموس لدى الحيوانات

(١) (الموضع الأزرق Locus coeruleus هوَ نُواة في الجسر تَلعب دوراً وظيفياً فيما يتعلق بالضغط النفسي وَالفزع. المترجم).

"الصباحية" مقارنة بالمتغير TT. ووجد أن المتغير GG للجين PER2 أكثر شيوعاً لدى الأفراد الذين طال متوسط فترة النوم عندهم لمدة ٢٠ دقيقة.

الميلاتونين: هرمون الليل

تطلق منطقة في الدماغ، تسمى المشاشة[٢]، الميلاتونين عندما يخفت ضوء النهار في المساء. يرسل هذا المفتاح الكيميائي إشارة النوم للجسم. وينخفض إفرازه عندما يعود ضوء النهار، الأمر الذي يسهل أنظمة اليقظة. والميلاتونين هو ... حكاية ضفادع.

في عام ١٩٥٨، بحث الأمريكي آرون ليرنر Aaron Lerner، طبيب الأمراض الجلدية، عن منتج قادر على تخفيض إنتاج أخضبة جلدية لمعالجة المرضى المصابين بالوضح (البهاق)، وهو مرض مرتبط بابيضاض متغاير للجلد. فطبق آنذاك اكتشاف كاري ماكورد Carey McCord وفلويد آلين Floyd Allen الذي برهن على أن مستخلصات مشاشة البقر يمكن أن تزيل لون جلد الضفادع. عزل ليرنر عندئذ مادة من المشاشة أطلق عليها اسم "ميلاتونين"، من الكلمة اليونانية melanos التي تعني "أسود". وقد نام المرضى عندما تم استخدام هذه المستخلصات في معالجتهم. وهكذا تم اكتشاف الهرمون المسؤول عن إطلاق النوم.

يطرح الفضلات، وينقي

لا يملك الدماغ، خلافاً لأعضاء الجسم الأخرى، أوعية لمفاوية لتصريف الفضلات. فالخلايا النجمية، وهي خلايا مغذية ومنقية، تطرح مختلف الفضلات الخليوية في السائل الذي يحيط بالأوعية الدموية الكثيرة جداً في الدماغ. تمر الفضلات بعد ذلك في السائل الدماغي الشوكي (LCS)، ثم في دم الأوردة. وقد أطلق الأمريكي رشيد ديان Rashid Deane من جامعة روشستر، المختص في البيولوجيا العصبية، على هذا النظام اسم الجهاز الغليمفاوي[٣]. وقد درس فريقه آلية التخلص من فضلات الدماغ لدى الفأر، بمقارنة ما يجري أثناء اليقظة والنوم. كما درس قدرات

(٢) (المشاشة épiphyse ويطلق عليها اسم الكردوس في بعض المصادر هي النهاية المستديرة للعظام الطويلة، مع المفصل المجاور للعظام ، بين المشاشة وجسم العظم (القسم الوسطي الطويل للعظام الطويلة) يقع الكردوس، ويشمل ذلك لوحة المشاش (لوحة النمو). في المفصل ، تتغطى المشاشة بالغضروف المفصلي، أسفل تلك العظام يوجد طبقة تشبه اللوح المشاشي تُعرف بالعظم تحت الغضروفي. تمتلئ المشاشة بنخاع العظم الأحمر التي تنتج كرات الدم الحمراء. المترجم).

(٣) (الجهاز الغليمفاوي أو جهاز التصريف الغليمفاوي هو جهاز يقوم بتخليص الجسم من الفضلات الضارة ويقع في الجهاز العصبي المركزي. المترجم).

التخلص من مخلف خاص بالدماغ يصبح ساماً في مرض ألزهايمر: ببتيد أميلويد. وإذا لم يتم إخلاء هذا الببتيد بشكل جيد من الدماغ فسوف يتراكم، ويشكل كميات كبيرة أو صفائح أميلويدية يمكن رؤيتها في دماغ المرضى الذين يعانون من مرض ألزهايمر. فتراكم هذه الصفائح سوف يحد من عمل نقاط المشبكات العصبية، ويسبب اضطرابات معرفية تميز هذا المرض.

عندما استخدم رشيد ديان ملونات فلورية حقنت في السائل الذي يغسل الدماغ (السائل الدماغي الشوكي LCS)، لاحظ أن جريان هذا السائل أعلى خلال النوم. وفضلاً عن ذلك، إن المجال الخلالي، الذي يحيط بالأوعية الدموية الشعيرية والذي يحتوي هذا السائل، يتضاعف حجمه أثناء الليل، وهو ما يعني أنه سوف يتم إزالة المخلفات العصبونية بسهولة. وللتحقق من هذه الفرضية، حقن الباحث فئراناً بالببتيد أميلويد إما أثناء اليقظة وإما أثناء النوم: لاحظ أن طرح هذا الببتيد أفضل بمرتين أثناء النوم. ما الآلية التي تحكم هذا النقص الواضح في حجم الدماغ أثناء النوم، الذي يزيد بذلك من المجال الخلالي الذي يحيط بالأوعية الدموية؟ إن هذا النقص، الذي يبلغ ٨٪ من الحجم الكلي للدماغ، يبدو مرتبطاً بأثر هرمون اليقظة، النورادرينالين الذي يسهل زيادة حجم النسيج الدماغي خلال السهر، وتقلص هذا الحجم أثناء النوم، عندما يكون إفراز هذا الهرمون ضعيفا جداً أو مفقوداً.

يُغْسَل الدماغ بطلب من القلب

أثبت ماكين نيدرجار Maiken Nedergaad وفريقه من جامعة روشستر أثر تصلب شرايين الدماغ في جريان السائل الخلالي، أثناء السهر والنوم في آن واحد. كلما زادت مرونة الشرايين زاد المجال الذي يملؤه هذا السائل المحيط بالشرايين، من أجل جمع الفضلات العصبونية بشكل أفضل، الأمر الذي يسهل التخلص من الببتيد الأميلويدي. فأثناء الشيخوخة، يفقد جدار الشرايين مرونته، وتصبح إزالة الببتيد أقل فعالية. ويُسهل تجمع هذا الببتيد مع توالي السنين ظهور اضطرابات معرفية وخطر الإصابة بمرض ألزهايمر. فغسل الدماغ الجيد مرتبط إذن بمرونة الشرايين الجيدة، وعمل القلب على النحو الصحيح.

تغير العصبونات إيقاعها من أجل استعادة النوم والاستفادة منه. فإذا كانت فترة النوم كافية، فإن تنظيمه يتوزع على مراحل عدة. تتوالى في المرحلة الأولى على وجه الخصوص مراحل نوم عميق، وفي الثانية، مراحل نوم متناقض، تتميز بحركات سريعة للعينين مقترنة بأحلام. وتبدأ العصبونات بالتباطء خلال النوم العميق، وتستهلك طاقة أقل، وتتواصل بشكل أقل، بسبب

انخفاض الغلوتامات، المفتاح الرئيس للسهر. إن مراقبة ما يجري على مستوى التواصل بين العصبونات أمر معقد، ولكن يُلاحظ أن التنشيط المفرط لبعض الدارات خلال اليقظة يُولد إشارات تنبيه، مثل الأدينوزين، تجبر العصبونات على إبطاء عملها، وتحث بذلك على شعور بالتعب، يؤدي إلى النوم.

يتعزز عدد كبير من المشبكات العصبية خلال الليل فيُنشط بإيقاعات مختلفة دارات عصبونية أخرى. ويبرهن استخدام علماء البيولوجيا العصبية للفأر الفتي نموذجاً على أن التوازن يقظة/ نوم أساسي لتسهيل نمو المشبكات العصبية خلال النهار، والتخلص من الوصلات غير الفاعلة أو غير المفيدة خلال الليل. ولكن ما الذي يحدث لدى البالغ عندما لا يطرأ تغير كبير على العدد الكلي للمشبكات؟ هنا أيضاً، شرح علماء البيولوجيا العصبية ظاهرة تخلق النسيج العصبي باستخدام الفأر نموذجاً، لا سيما في الحصين المسؤول عن الذاكرة، وهي منطقة من الدماغ حيث تعاد قولبة كل الدارات باستمرار. وتوصل الباحثون، بملاحظة ما يجري في حالة الحرمان الطويل من النوم، إلى فهم دوره. يؤدي الحرمان من النوم لدى الفأر إلى انخفاض واضح في تزايد عصبونات جديدة في الحصين. ويبدو أن هذا الأثر أكثر تأثراً بقلة النوم المتناقض الذي يميز مراحل الحلم. فالإجهاد المتراكم خلال النهار ينشط إفراز النورادينالين ويبطئ في آن واحد زيادة العصبونات الجديدة في الحصين وبقاءها. ما نتائج ذلك؟ يحاول علماء البيولوجيا العصبية تقديم إجابات عن هذا السؤال بدراسة الأداء المعرفي على وجه الخصوص، وعلاقته بجودة النوم.

النوم وفوائده

نُسب الدور المفيد للنوم على وجه الخصوص لأثره في الذاكرة، ودُرس دراسة مستفيضة من خلال أثر الحرمان الطويل من النوم لدى الفأر. إن الأمور أكثر تعقيداً بكثير لدى الإنسان كما يشير إلى ذلك روبرت ستيكغولد Robert Stickgold من جامعة هارفارد، نظراً لوجود أشكال متعددة من الذاكرة (انظر الفصل السادس). وإن آليات التخزين متنوعة بحسب نمط الذاكرة. لنأخذ الذاكرة التقريرية التي تتضمن الذاكرة الدلالية، وهي ذاكرة الكلمات التي تم تعلمها غيباً، وتوافق معرفة (عاصمة دولة، على سبيل المثال)، والذاكرة العرضية وهي الذاكرة المختصة بتذكر تفاصيل حدث عشناه (ماذا فعلنا أو أكلنا في نهاية الأسبوع الأخيرة). تثبت اختبارات تعلم كلمات تبعها تذكرها في

اليوم التالي أو في الأيام الثلاثة التالية، مقلدة بذلك عمل الحفظ لدى التلميذ، أثر مدة النوم وجودته في عدة متغيرات تُعزى لقدرات الذاكرة التقريرية. فخلال النوم، يتم تقسيم الحدث أو النص المراد ترسيخه في الذاكرة إلى عناصر عدة كما في الأحجية. وبعد ذلك، خلال مراحل النوم العميق الأكثر نشاطاً (بين ساعتين ونصف وثلاث ساعات ونصف بعد النوم)، يُعيد الدماغ تشكيل مختلف العناصر الحواسية الملتقطة أثناء التعلم ويدمجها. وهكذا يقوم الدماغ ببناء المخطط المراد ترسيخه في الذاكرة، الذي يفككه بعد ذلك خلال مراحل النوم المتناقض، ويخرج منه العناصر التي تبدو له غير مفيدة. فإذا شكل مكون انفعالي قطعة من قطع الأحجية، فإن الدماغ يكتشفها، وخلال مراحل الحلم وبفضل أثر الأستيل كولين، يتم تخزين الحدث الذي تم ترسيخه في الذاكرة .

الدماغ النائم: مفكرة ممتازة

يتطلب تخزين الوقائع أو الكلمات التي تترسخ في الذاكرة خلال اليقظة كل هذه الآلية المعقدة التي تتم خلال النوم. أولاً، إن الدماغ يناوب مراحل عدة من النوم العميق بموجات بطيئة ثم مراحل من النوم المتناقض، يطول كل منها بالتتابع مع اقتراب نهاية الليل. وما يزال توضيح آليات هذا التخزين بعيد المنال. فخلال النوم العميق، يسهل تردد الموجات البطيئة الاتصال بين مناطق متباعدة في الدماغ، مثل الفص القذالي والفص الجبهي. ويقسم خلال هذه المرحلة كل ما تم تعلمه قبل يوم. ثم يخزن الحدث الذي تم حفظه وتستبعد بعض التفاصيل خلال الجزء الثاني من الليل وأثناء النوم المتناقض، ونتذكر في نهاية المطاف في اليوم التالي ما رغب الدماغ في إعادة بنائه.

تقترن جودة الذاكرة العشوائية والحالة هذه بحسن سير مراحل النوم العميق التي تتيح استعادة العناصر المراد حفظها، وربطها، وتخزينها لأجل طويل.

تتجلى قلة النوم بمجرد تجاوز فترة السهر المتواصل ١٦ ساعة. وتتأثر وظائف معرفية مختلفة بالتتابع، مع انخفاض الانتباه والتنبه، وتراجع قدرات الإدراك الحواسي، الذي يصيب على وجه الخصوص النظر والشم. وإذا أخرنا النوم أكثر من ذلك، تظهر نوبات نوم قصير جداً تستمر ثانية تقريباً، لا يمكن للمرء إدراكها، ويمكن أن تترجم بتباطء تنفيذ الحركات، وحسن سير سلوكياتنا. ويصاب أيضاً الدماغ الانفعالي بالتشوش، مع انخفاض بالشعور بالقيمة الإيجابية للانفعالات،

وزيادة الشعور بالانفعالات السلبية، الأمر الذي يؤدي إلى تعديل المزاج. ويبدو أن الفص قبل الجبهي، الذي يلجأ إليه الإنسان كثيراً أثناء اليقظة، هو الأكثر تأثراً بالسهر الطويل. والواقع أن دارات هذه المنطقة تعمل كثيراً، وأن إراحتها تتيح أولاً تقليل عملها، وتدوير عدد كبير من مستقبلات المفاتيح الكيميائية، مثل الغلوتامات، والدوبامين، أو أيضاً النورادرينالين. إن انخفاض وظيفة الفص فبل الجبهي يترجم بكل هذه الاضطرابات البسيطة في وظائف الدماغ، التي تؤول بشكل سريع على أنها إشارات على التعب.

تجدر الإشارة إلى أن التفكير المنطقي والقدرة على تخطيط العمل مصونان نسبياً، لأن دارات أخرى يمكن أن تتولى المسؤولية. وبالمثل، يطرأ تعديل طفيف على الذاكرة العاملة، بينما ينخفض بشكل كبير التفكير المتضارب، والقدرة على التخيل، والقدرات الإبداعية بفعل الحرمان من النوم. ويشغل الدماغ، لترميم داراته، شبكاته العصبونية بترددات موجية مختلفة جداً عن اليقظة: إما أنه يبطئها بشكل كبير خلال النوم العميق فيساعد بذلك المشبكات العصبية على التجدد، وإما أنه ينشطها بتردد أعلى خلال مراحل النوم المتناقض فيساعد على تشكيل وصلات جديدة: يعيد الدماغ هكذا تنشيط شبكاته العصبونية، ويوفر إمكانيات جديدة لتكييف داراته.

ينظف، ويرمم مشبكاته، وينظم اليوم التالي

تناوب اليقظة/ النوم ضروري لتجدد الدماغ: هذا هو الثمن الذي ينبغي أن ندفعه ليتمكن الدماغ من إعادة مشبكاته إلى حالتها الجيدة، ولتعمل بأكبر قدر من الفعالية في اليوم التالي. فعندما يُحرم الدماغ من النوم، يتكيف بسهولة مع تغيرات البيئة. فالنوم ضروري إذن للدونة الدماغية. وهذه على أية حال نظرية يدافع عنها بقوة جويليو تونوني Guilio Tononi[٤]، أستاذ البيولوجيا العصبية في جامعة ويسكونسن ماديسون Wisconsin-Madison. يتعلق الأمر قبل كل شيء على ما يبدو بالطاقة. فخلال يوم، وبعد نشاط دماغي متواصل، يمكن أن يستهلك الدماغ حتى ٣٠٠ كيلو كالوري خلال ١٦ ساعة في اليقظة، بينما ينخفض استهلاكه في الليل إلى ٤٠ كيلو كالوري خلال ٨ ساعات. وينبغي بسرعة إصلاح الدارات التي تنشط كثيراً خلال النهار، مثل الحصين والقشرة قبل

(٤) (انظر : "ألغاز علمية لم تُحل بعد ونحن في عام ٢٠١٨"، الرابط: http://ibelieveinsci.com/?p=43143. المترجم).

الجبهية. والواقع أن بروتينات المشبكات العصبية تهلك، وينبغي تبديلها بانتظام. وبالمثل، تحتاج الخلايا الدبقية، التي تساعد العصبونات على العمل للراحة، لإعادة تكوين احتياطي الطاقة. فالحرمان الطويل من النوم يؤدي لا محالة إلى إجهاد الخلايا، وتعجيل موتها، وخفض القدرة على تخلق النسيج العصبي. ولتنظيم نشاط إراحة الدارات هذا، تفرض إشارات النوم تردد موجات بطيئة أقل من ٤ هرتز/ ثا (أو دورات/ ثا)، تميز النوم العميق. وهذا يسهل إفراز الهرمونات المفيدة، مثل هرمون النمو أو BDNF، الضرورية لإثارة تكون عصبونات جديدة. وفضلاً عن ذلك، ينعدم التيقظ خلال مراحل النوم العميق، ولا يتأثر الدماغ بالبيئة، ويمكن في هذه الحالة للعصبونات التي تنشط كثيراً في النهار أن تعمل تلقائياً، من دون تنشيط خارجي، مسهلة حمايتها وبقاء مشبكاتها العصبية. وبموازاة ذلك، يمكن للمشبكات العصبية المستخدمة قليلاً خلال النهار، التي توافق غالباً دارات قديمة جداً في الذاكرة، أن تُهْمل تدريجياً، وأن تُسْتبعد لاحقاً، مُسهلة قدرة وظائفنا المعرفية على النسيان. ويسعى الدماغ إلى تنظيف نفسه ليُنشط ثانية بشكل فعال الدارات التي يمكن أن تعمل في أثناء اليوم التالي.

لا أحد يعترض على أن ذاكرته ليست معصومة من الخطأ: إنها آلية معرفية غير كاملة، ومعرضة لمختلف أنواع الخطأ والتعديل. وتقدم البيولوجيا العصبية توضيحاً لذلك، من خلال دراسة الأحلام وتصوير الدماغ. فالذاكرة عملية إعادة بناء تجري انطلاقاً من بعض عناصر الماضي، التي يعيد الدماغ تجميعها محاولاً تكوين مخطط متسق، ولكن هذا المخطط نادراً ما يكون متطابقاً كلياً مع الحدث الذي تم حفظه بتفاصيله. ولا يرتبط النقص في الذاكرة بخلل وظيفي في الدماغ، وإنما بآلية اختلاط في المعلومات.

يرى عالم البيولوجيا العصبية دانييل شاكتر Daniel Schacter أن "ذاكرة الأحداث الخاصة تشبه أحجية جمعت من قطع مختلفة. ومن الطبيعي أن تجمع معاً القطع الملائمة والمشاعر في قصة أو في حكاية متسقة"[٥]. وغالباً ما تفسد الذكريات أو تشوهها معلومة تم تلقيها بعد الحدث. وتتشكل عندئذ حكاية متسقة يصعب فيها تمييز الصواب من الخطأ. يمكن أيضاً أن تنتج آلية تشويش في الذاكرة ذكريات زائفة. فإذا حاولنا حفظ قائمة من ١٠ كلمات تصف شطيرة خبز، مثل "زبدة،

(٥) "Memory distorsion: An adaptative perspective", *Trends Cogn. Sci*, 2011, 15, 10, P. 467-474.

"مربى، فطور، شعير، عجينة، خفيفة، يشوي، كامل، قطعة، رقاقة محمصة"، وحاولنا بعد ذلك استعادة الكلمات، فإن ٦٠٪ من الأشخاص يقولون إن كلمة "خبز" موجودة. ويمكن أن تؤدي هذه الآلية إلى ذكريات زائفة[٦].

توقع المستقبل بفضل أخطاء الذاكرة

إن الأحداث السلبية أو المسببة للإجهاد والمعلومات التي تقترن بها غالباً ما يشوبها التشويه. ويتعاون الفص قبل الجبهي مع الدماغ الانفعالي ليحولها إلى حدث إيجابي يطمئننا، ويقدم لنا إمكانية إدراكها بشكل أفضل إذا ما حدثت مستقبلاً.

الذاكرة إذن عملية إبداعية، تعيد تركيب عناصر عدة موزعة في دارات مختلفة من الدماغ، من أجل إعادة جمعها، وإعادة خلق حدث متسق، ليتم حفظه، وليساعدنا على تكييف سلوكنا إذا ما ظهر هذا الحدث من جديد. تدل هذه القدرة أيضاً على تكيف الدماغ مع ثراء بيئته الاجتماعية، ومع تفاعله مع الآخرين، وهذا دليل إضافي على أن الدماغ يعيد قولبة نفسه باستمرار.

يرتبط دور النوم في الترميم بشكل كبير بدور الحارس والراصد الذي تقوم به الخلايا الدبقية، الجاهزة لإطلاق رد فعل التهابي، ولتنظيف العصبونات والخلايا النجمية التالفة. وإذا حدث تشوش في تنشيط دورة اليقظة، عند طلوع النهار، فإنه يمكن أن يشعر المرء بالتعب، وغالباً ما يكون ذلك إشارة على التهاب بعض دارات الدماغ. يمنع هذا الالتهاب الأثر المرمم لعوامل التغذية العصبية أو النوروتروفينات خلال الليل، ويمكن أن يؤدي إلى اضطراب في الذاكرة. تلاحظ مثل هذه الظواهر أيضاً في حالة الأمراض التنكسية العصبية، والاكتئاب، وأثناء مرحلة متقدمة من الشيخوخة. يمكن أن تحصل العصبونات والخلايا النجمية على إشارات التهابية تصدرها أعضاء أخرى، مثل المفاصل، والجلد، أو أيضاً الأمعاء. إن المحافظة على دماغ في حالة جيدة خلال سنوات طويلة جداً، كما سنوضح ذلك في الفصل الأخير، ترتبط بتوازن متسق بين أعضاء عدة وهرموناتنا، وبصحة عامة جيدة للجسم كله.

---

(٦) (انظر مقالاً بعنوان : "ذكريات زائفة: عندما يكذب عليك عقلك، لن تعرف أبداً "، الرابط: https://manshoor.com/science/false-memory-deceiving-mind/ . المترجم).

الفصل الحادي عشر

دماغ لا يتزعزع

"الشيخوخة طويلة جداً لدرجة أنه
لا ينبغي البدء بها قبل الأوان".
بنوات غرولت[1] Benoîte Groult

الدماغ تحت محك العمر

لا تنخفض القدرات الذهنية بالإيقاع نفسه. وفضلاً عن ذلك، يوجد لكل شريحة عمرية اختلافات كبيرة بين الأفراد. تؤكد دراسة علمية حديثة أجراها عالما النفس جوشوا هارتشورم Joshua Hartshorne ولورا جيرمين Laura Germine أن مختلف أوجه ذكائنا لا تشيخ بالطريقة نفسها، ولا بالسرعة ذاتها. فقدراتنا المقترنة بالذكاء السائل[2] تكون في صورتها المثلى بين عمر ٢٥ و٣٠ سنة، وتتراجع بعد ذلك تدريجياً. والذكاء السائل هو الذكاء الذي نستخدمه لحل مشكلة أو الخروج من

---

(١) (صحفية وروائية ومناضلة نسوية فرنسية (١٩٢٠-٢٠١٦). المترجم).

(٢) (يعبّر الذّكاء السائل عن القدرة على التفكير بطريقةٍ مجرّدةٍ وحل المشكلات، فهناك بعض الأشخاص القادرين على إيجاد استخدامات كثيرةٍ لشيءٍ معيّنٍ؛ ويتّصف هذا الذّكاء بتراجعه مع تقدّم السّن، وتعتبر القدرة أمراً منفصلاً عن التعلّم، والخبرة، والتعليم، فعلى سبيل المثال يعتبر حل الألغاز، وإيجاد طرق لحل المشاكل من أشكال الذّكاء السائل. أما الذكاء البلوري فيعبر عن القدرة على الفهم والقراءة، واكتساب المهارات الذهنيّة، ويتّصف هذا الذّكاء بزيادته مع تقدّم السّن؛ وذلك لأنّه يعتمد على الحقائق، والخبرات الراسخة، فكلّما تقدّم الإنسان بالسن تزيد كميّة جمع المعرفة الجديدة، والفهم؛ الأمر الذي يؤدي إلى زيادة قوّة هذا الذّكاء. انظر: "زيادة الذكاء"، موقع : mawdoo3.comالمترجم).

موقف غير متوقع بسرعة. أما النوع الثاني من الذكاء، أي الذكاء البلوري فيتحسن مع تقدم العمر باكتساب معارف وخبرات في العديد من المجالات، ويتأثر بذلك تأثراً قويا بتاريخنا الشخصي. وهو مثالي في عمر ٦٥ إلى ٧٠ سنة تقريباً، ويتراجع بعد ذلك. ومن القدرات العقلية التي تُسهل فعالية الذكاء السائل، هناك سرعة تنفيذ مختلف المهمات العقلية، سواءً من أجل التفكير أو من أجل البدء في حركة ما، إضافة إلى الانتباه، والذاكرة، والوظائف التنفيذية.

تتراجع سرعة التنفيذ تدريجياً بعد ٣٠ سنة، ويمكن أن تعلل البطء في عملية التفكير أو أيضاً في البحث عن كلمة. وتتراجع أيضاً بعد عمر ٧٥ سنة في التنفيذ الحركي. فالانتباه الانتقائي، على سبيل المثال القدرة على التركيز على محادثة واحدة عندما يتناقش عدة أشخاص في الوقت نفسه، يتراجع ببطء مع تقدم العمر. وتتأثر الذاكرة العرضية بوقت قصير نسبياً بعد عمر ٦٥ سنة، لأنها تنتج عن انخفاض سرعة الترميز واستعادة الأحداث، وصعوبة في فرز المعلومات غير المفيدة واستبعادها، وأيضاً اللجوء إلى إستراتيجيات التجريد من أجل تحسين التعلم واستدعاء الوقائع التي تم حفظها. وبخلاف ذلك، تبقى ذاكرة الكلمات محمية لفترة طويلة جداً.

تبقى أشكال الذاكرة الأخرى، مثل الذاكرة الإجرائية التي تتعلق بمهارة الحركات الاعتيادية، محمية جداً طوال الحياة، حتى في عمر متقدم. إن قدرات التعلم محمية لفترة طويلة، ولكن الترميز والاكتساب يصبحان بطيئين بحيث إن المعلومات المحفوظة منذ وقت طويل تتأثر قليلاً في حين أن استدعاء المعلومات المحفوظة حديثاً يكون أكثر صعوبة. وتبقى اللغة سليمة، حتى لو انخفضت سرعة التعبير والكلام تدريجياً. تتباطأ أيضاً وظيفتا القرار العقلي والتنفيذ بعد عمر ٧٠ سنة، مع ميل أكثر صعوبة للاضطلاع بقرار معارض أو رافض في مواجهة خيار ممكن. ويرتبط هذا التعديل في السلوك على وجه الخصوص بتراجع المرونة في عملية التفكير.

ما الذي يجري في دماغنا حتى تسير الأمور، تدريجياً، بشكل أقل جودة؟ لقد تطورت وسائل فهم شيخوخة هذا العضو تطوراً كبيراً منذ ٤٠ سنة. فبعد الملاحظات التي تم الحصول عليها انطلاقاً من تشريح الدماغ، والتي زعمت تسجيل نقص حتمي في حجم الدماغ مع تقدم العمر، تقدم ملاحظات تصوير الدماغ حالياً إشارات في زمن حقيقي. ينقص حجم الدماغ بدءاً

من عمر ٣٠ سنة، بمعدل ٣٪ كل ١٠ سنوات، وهو ما يعني أنه في عمر ٩٠ سنة، يفقد الدماغ حوالي ٢٠٪ من حجمه. ولا تعني هذه الخسارة في الحجم خسارة كبيرة في العصبونات. فمن الصعب جداً عَدُّ هذه الخلايا الكثيرة جداً. تحوي قشرة الدماغ من ١٥ إلى ٣٠ مليار عصبون بحسب الأشخاص، ولا تتجاوز الخسارة الكلية ١٠٪ من العدد الإجمالي. والواقع أن الملاحظات التي سجلت على المستوى الخليوي تظهر أن الدماغ يفقد على وجه الخصوص وصلات- ولكنه يملك، لحسن الحظ، عدة آلاف المليارات منها. هذا الانخفاض في كثافة الدماغ البشري، يؤثر على وجه الخصوص في الدارات الأكثر استخداماً في دماغ الإنسان، لدى شخص في صحة جيدة، أي تلك التي تربط النويات الرمادية بالقشرة قبل الجبهية ، وتلك التي ترتبط بالحصين أيضاً.

يمكن أن تصل الخسارة في العصبونات إلى ٣٠٪ فعلياً في مناطق محددة من القشرة قبل الجبهية والحصين حيث تقع دارات رئيسة للذاكرة وللذكاء السائل، في حين أن هذا الانخفاض يقتصر على ١٠٪ تقريباً في معظم المناطق الدماغية الأخرى. ويؤثر تراجع عدد العصبونات مباشرة على سرعة نقل المعلومات في الشبكات العصبونية المعنية، وكذلك على فعالية الاتصالات بعيدة المدى. وفضلاً عن ذلك، إن عدد وفعالية مستقبلات المفاتيح الكيميائية، المنشطة لعمل هذه الشبكات، مثل شبكات الغلوتامات، يتراجعان- وهذه نتيجة مباشرة لخسارة الوصلات على مستوى الخلايا التغصنية أو الشجيرية، وهي أغضان دقيقة تزين الغالبية العظمى من محاور عصبوناتنا.

يتراجع كل شيء تدريجياً على المستوى العصبوني: قدرة العصبونات على إنتاج الطاقة، وجودة العازل الكهربائي للعصبونات، وفعالية عمل المفاتيح الكيميائية. وما يزال علماء البيولوجيا العصبية يجهلون الآليات التي تؤدي إلى هذا التراجع في القدرات الذهنية: فقد ٣٥٪ من الأشخاص الذين بلغ عمرهم ٧٠ سنة حوالي ١٥٪ من الأداء المعرفي الذي كان لديهم في عمر ٣٠ سنة.

طول العمر والدماغ: الوجه السيئ

من المهم ملاحظة أنه حتى بالنسبة إلى المختص بالعصر الحجري الأخير، كان الإنسان يستطيع العيش حتى ٧٠ سنة تقريباً. يتراجع الأداء المعرفي غالباً في وقت متأخر. وقد كان تطور الدماغ الجبهي أكثر سرعة على الأرجح: ترف الدماغ الذي يتضمن شبكات عصبونية فائقة الاتصال تعمل بسرعة. فهذه المنطقة من الدماغ، التي تستغرق أطول مدة لبلوغ الحد الأقصى من نضجها، هي أيضاً المنطقة الأكثر تلفاً أثناء الشيخوخة.

سهل التطور البشري القدرات الذهنية والبدنية لعصر النضج. وتكيف تطور الجينات أيضاً مع النظام الغذائي للبشريات. وعندما يأكل الإنسان مزيداً من اللحم، فإنه يدخل إلى معدته كمية أكبر من الدهون والكوليسترول. وتتطور جينات، مثل الجين APOE[٣]، أي صميم البروتين الشحمي E، وتصبح أكثر فعالية للاحتفاظ بالكوليسترول فتسهل بذلك صنع فيتامين د، الثمين جداً من أجل تقوية العظام. إن تطور هذه الجينات له مع ذلك وجه سيئ: مع توالي السنين، لا سيما إذا كان الغذاء غير متوازن، يسهل الجين APOE إنتاج إشارات التهابية، تساعد على الترسب غير الطبيعي للكوليسترول في الأوعية، وتزيد خطر ظهور الخرف، وهي إشارات على تنكس الدماغ.

تعاون غير متوقع بين الدماغ والأمعاء

ترتبط القدرات الذهنية ارتباطاً كبيراً، كما سبق أن وضحنا في الفصول السابقة، بجودة الحياة، والتمرين البدني، والتوازن الغذائي، وتدريب قدراتنا العقلية. فالصحة العقلية الجيدة، وهي ضمانة لعمل الدماغ المثالي، ترتبط أولاً بتواصل بين العضلات والدماغ (انظر الفصل الثامن). ومن جهة أخرى، يتم هذا التواصل أيضاً بإرسال الدماغ إشارات صادرة عن مختلف الأعضاء، ومنظمة للشهية، والوزن أو أيضاً النوم. وتصدر مثل هذه الإشارات أيضاً عن الأمعاء، وهي عضو مهم في امتصاص الغذاء. ومع ذلك، تستوطن القناة الهضمية والأمعاء على وجه الخصوص بكتيريا عديدة جداً لا تستفيد من كثرة الغذاء المحلي فحسب بل تستطيع أيضاً، من خلال وجودها، التأثير على عمل انفعالاتنا وذاكرتنا أو أيضاً سرعتنا في عملية التفكير، من خلال إرسال العديد من الإشارات الكيميائية.

(٣) Apolipoprotéine E. المترجم).

تملك الأمعاء في الواقع، من أجل التواصل مع الدماغ، عصبونات عدة متشابكة في جدارها ترسل إشارات للدماغ عبر الأعصاب الحسية، قادرة على وجه الخصوص على اكتشاف مثيرات مهيجة سامة أو آلية. وبالمثل، يمكن أن يكتشف الجهاز المناعي الإشارات الكيميائية، والذيفانات أو المواد التي تفرزها البكتيريا المعوية. وأخيراً، تنشط الأطعمة الهضومة الناجمة عن هضم الأغذية مثل السكر أو الألياف النباتية، إنتاج الهرمونات المحلية، التي يمكن أن يحصلها الدماغ.

تتأثر نباتاتنا المعوية، أي الأنواع البكتيرية التي تعيش في أمعائنا، بالتغيرات في عاداتنا الحياتية وبالإجهاد. فتناول المضادات الحيوية، والسفر الطويل، أو نوبات الإسهال أو الإمساك يمكن أن تغير كيمياء الدماغ، وبالتالي سلوكياتنا. تشير دراسات أجريت على الفأر إلى أن العديد من البكتيريا المعوية يمكن أن تطلق إشارات كيميائية، لا بل مستقبلات عصبية، تؤثر بشكل مباشر أو غير مباشر في عمل الدماغ. وهكذا، إن نظاماً غذائياً غنياً باللحوم لدى الفأر يسهل إفراز حمض أميني في الأمعاء، هو التورين الذي يثير الذاكرة المكانية للحيوان. وبالمقابل، يخفض الإنتاج الموضعي للنورادرينالين، أثناء الإجهاد، نسبة جنس من البكتيريا يسمى العصوانية[٤] فيزيد بذلك من إنتاج إشارة التهابية، هي الإنترلوكين٦ (IL-6). والحال أن هذه الإشارة يمكن أن تعدل عمل دماغ الانفعالات، وأن تسهل الاكتئاب. وأخيراً، إن نظاماً غذائياً تكثر فيه السكريات القابلة للاختمار يمكن أن يزيد من تركيز حامض اللبنيك في الكولون، الأمر الذي يسهل قلق الفأر، وينقص قدرة ذاكرته. إن العديد من الدارات الدماغية التي تستخدم مفاتيح كيميائية مختلفة مثل حمض الغاما-أمينوبيوتيريك GABA، والنورادينالين أو أيضاً السيروتونين يمكن أن تُعدل بفعل إطلاق الأيضات أو الإشارات الكيميائية التي يصدرها النبات البكتيري في الأمعاء.

يمكن للأمعاء أن تتواصل أيضاً مع الدماغ بواسطة عصبوناتها الخاصة بها التي تمثل حوالي ٣٠٠ مليون خلية عصبية متصلة عن طريق الأعصاب بمختلف بنى الدماغ. ويعرف علماء البيولوجيا العصبية حالياً آليات التواصل بين الأمعاء والدماغ. يتم اكتشاف إشارات كيميائية، التهابية أو آلية بواسطة عصبونات الأمعاء. ترسل هذه العصبونات المعلومات عن طريق وصلات

---

(٤) (العَصَوَانِيَّةُ (باللاتينية: Bacteroides) هي جنس من البكتيريا سلبية الغرام اللاهوائية الإجبارية، وهي عصوية غير مكونة للأبواغ الداخلية، وقد تكون قابلة للحركة أو غير قابلة للحركة بحسب النوع. المترجم).

عصبية، بواسطة العصب المبهم، وهو عصب يرسل معلومات بين الجهاز الهضمي والدماغ. تنقل المعلومات بعدئذ إلى القشرة الجبهية، وإلى تحت المهاد واللوزة. وهكذا يُعلم الدماغ بشكل كامل بما يحدث في البطن. وتقوم القشرة قبل الجبهية بإعلام شعورنا بالحالة الصحية للأمعاء.

صوت من الداخل: صورة راحة الأمعاء

عبر عالم النفس والفيلسوف الأمريكي وليام جيمس William Jamesعن أول فرضية للتواصل بين البطن والدماغ في عام ١٨٨٠. وسلط الضوء على فكرة إنتاج الانفعالات مثل الخوف، والغضب أو الحزن بواسطة مثيرات خارجية تنشط الأعصاب المستقلة للأمعاء والأحشاء. ففي هذه الحالة، يثير إدراك الألم في المعدة والإمساك أو تسارع ضربات القلب الشعور الانفعالي بشكل مباشر. وقد برهن الفيزيولوجي الأمريكي فالتر كانون Walter Cannon[٥]، في عام ١٩٢٠، على أن الانفعالات تنتج بداية في القشرة ثم تعبر عن نفسها لاحقاً فتنشط الأعصاب المحيطة بالأحشاء.

وأخيراً، اقترح حديثاً جداً بيود كريغ Bud Craig، وهو مختص في التشريح العصبي في جامعة فونيكس، في أريزونا، فرضية "انفعال بدني داخلي". يرى كريغ أن منطقة من القشرة الحوفية تعيد بناء صورة داخلية لبدننا بفضل الأعصاب التي تنقل المعلومات التي حصلت عليها الأمعاء إلى الجزيرة في الدماغ. ثم تُعدل هذه الصورة سهلة البلوغ بالنسبة للدماغ انفعالاتنا وقلقنا أو شعورنا بالسرور فتقدم تمثيلاً لـ"الراحة الداخلية" يمكن إدراكه. يؤثر هذا التمثيل المجازي للراحة الفورية بشكل مباشر في حافزنا، وطاقتنا، وسلوكياتنا.

هناك هرمونات لحمايتنا

يتغير إنتاج الهرمونات وأثرها مع تقدم العمر. ولهذه التغيرات نتائج بدنية (زيادة الوزن، وظهور التجاعيد)، ومعرفية (اضطرابات الذاكرة أو التفكير)، ونفسية اجتماعية (ضياع المعالم، وصعوبات التواصل، والانعزال). ويعاني عصرنا الحالي من زيادة متنامية في البدانة، ومرض السكر، ومرض ألزهايمر. فالأنسولين، وهو هرمون أساسي لتنظيم استخدام السكر، يساعد على تنظيم الشهية والوزن في تحت المهاد. إنه يقلل الشهية، ويزيد استهلاك الطاقة، ويحث على النشاط

(٥) (والتر كانون Walter Bradford Cannon (١٨٧١ - ١٩٤٥) هو فيزيولوجي أمريكي، أستاذ ورئيس قسم الفيزيولوجيا في مدرسة طب هارفرد، ساعد في تطوير مفهوم الاستتباب homeostasis مع كلود برنار Claude Bernard، وأعلن ذلك من خلال كتابه *حكمة الجسم* *The Wisdom of the Body* في عام ١٩٣٢. المترجم).

الحركي، ويحد من إنتاج السكر في الكبد. وهو يجبر خلايا الدماغ، بشكل غير مباشر، على ممارسة الصيام. إن الخلايا التي تحد من استهلاكها للطاقة تُنشط جينات الترميم التي تُسهل تخلق النسيج العصبي، وترميم المشبكات العصبية. ففي الدماغ، تم إثبات أن الأنسولين يحمي العصبونات والمشبكات، ويقوم بدور في تحسين مختلف القدرات المعرفية مثل الانتباه، والوظائف التنفيذية، والتعلم، والذاكرة. ويزيد الإفراز الكلي للأنسولين أثناء زيادة الوزن، الأمر الذي يُسهل مقاومة الخلايا لهذا الهرمون، وهو ما يؤدي بشكل غير مباشر إلى زيادة الشهية. وتزداد مقاومة الأنسولين أيضاً تدريجياً مع تقدم العمر، وهذا دليل على خلل تدريجي للأهداف الخليوية لهذا الهرمون. وفضلاً عن ذلك، يؤدي نظام غذائي غني جداً بالدهون إلى التهاب تحت المهاد، الأمر الذي يُسهل فوضى في تناول الغذاء والتحكم بالوزن، وهو ما يوقف عمل مستقبلات الأنسولين. فالذين يملكون حساسية ممتازة للأنسولين يتجنبون حرق كثير من السكر بلا داع. وهذا يحد من إنتاج المؤكسدات الفعالة، ويزيد من فرص حياة الخلايا، وبالتالي طول العمر.

نضارة أبناء المائة سنة: قضية هرمونات

بعد عمر ٥٥ سنة، يخضع الجسم لإعادة تنظيم مع زيادة في الدهون، مصحوبة بإعادة توزعها على مستوى البطن، وبنقصها تحت الجلد. وترتبط إعادة التنظيم هذه بانخفاض تدريجي لفعالية الأنسولين، وهي محدودة جداً لدى الذين بلغوا التسعين، ولدى أبناء المائة سنة. فهم يحافظون على نسبة أقل من الدهون، وتبقى خلاياهم حساسة جداً لأثر الأنسولين. وينظمون بذلك تناول الغذاء واستهلاكهم من الطاقة. ويُمكن تفسير هذا الأثر المفيد، الذي يطول أمده لديهم، بطول أجل متزايد لعصبونات تحت المهاد في التحكم بمعدل الدهون وبالشهية.

يتغير تدريجياً إفراز الكورتيزول، وهو هرمون آخر، مع العمر. ويستمر إفرازه في نهاية اليوم، ويتم إطلاقه لوقت أطول لدى البالغين أثناء الإجهاد. وعلى المدى البعيد، يؤثر هذا التغير في الذاكرة العرضية، ويُسهل الانعزال، ويقلل من التواصل الاجتماعي، ويسهل ضموراً تحت المهاد. وتؤثر هرمونات أخرى، مثل الهرمونات الجنسية، التي تنتج مباشرة في الدماغ، على راحة العصبونات. وترتبط شيخوخة الدماغ لدى العديد من الثدييات بعمر النضج الجنسي. أما لدى الإنسان، فيزيد

طول العمر، على وجه الخصوص بسبب نضج جنسي أكثر تأخراً من نضج الرئيسات الأخرى. وتشارك الهرمونات الجنسية بالنسبة للجنسين في استمرار القدرات المعرفية المثالية خلال فترة التناسل النشطة، وهذا شرط ضروري لتكيف السلوك مع البيئة. ثم يحدث "التوقف"، الذي يمكن أن يسمى "سن اليأس"، بين ٥٠ و٥٥ سنة لدى المرأة، أو "ضعف الذكورة"، وهي أكثر تدرجاً وتأخراً لدى الرجل.

يلاحظ علماء البيولوجيا العصبية أن إنتاج الهرمونات الجنسية يتناقص مع تقدم العمر، كما يتناقص أيضاً إنتاج مستقبلاتها والجينات التي تتحكم بها هذه الهرمونات، التي لم يعد هناك سبب لعملها في عمر متقدم. فالأستروجين لدى المرأة والتستسرون لدى الرجل الذي يتحول جزء منه إلى أستروجين في الدماغ، ينشطان الدورة الدموية، ويحفزان تكون الوصلات بين العصبونات، وينشطان تخلق النسيج العصبي، ويزيدان الذاكرة العرضية، وذاكرة الاسترجاع، وسرعة التفكير. ويبدو أن الهرمونات الجنسية تحد في الوقت نفسه من آثار إجهاد العصبونات بممارستها أثراً حمائياً عصبياً.

ثمة مفتاح كيميائي أساسي آخر للدماغ يقوم بدور رئيس في الراحة المرتبطة بطول عمر الإنسان، ألا وهو الأوسيتوسين. وهو الهرمون الدماغي للحب نمطياً، باعتباره معدلاً عصبياً في الدارات التي تربط الفص قبل الجبهي، ودماغ الانفعالات، واللوزة، كما سبق أن وضحنا في مؤلفنا السابق الموسوم بعنوان *كيمياء المشاعر* (Odile Jacob, 2015).إنه يترك أثراً مخففاً للإجهاد، ويثبط الخوف من الآخر، ويسهل الثقة، والتقمص الوجداني. ويسهل إنتاجه التبادل، والاتصال، والحركات الودية. وإنه يسهل الثقة بين الزوجين وفي الرفقة، والكرم تجاه الآخرين. ويبدو أن إنتاجه ينخفض في عمر متقدم جداً عندما تضعف القدرات الحواسية للرؤية والسمع التي تسهل العلاقات. وفضلاً عن ذلك، يخف مع تقدم العمر أثر الأوسيتوسين المقاوم للإجهاد الذي يحد عادة من إفراز الكورتيزول.

هل هناك جينات لحمايتنا من الشيخوخة؟

لا يرتبط انحطاط الوظائف البدنية أثناء الشيخوخة بتنكس متزايد للأعضاء، وإنما، بحسب نظرية طفرات الخلايا الجسدية، بفقدان تدريجي لقدرات الخلايا، على إتلاف الجزيئات المتأكسدة أو الفاسدة، أو على مقاومة العوامل المؤكسدة المؤدية إلى خسائر متعارضة مع بقائها. ويستخدم بيولوجيون آخرون نظرية الإنهاض(٦). فتكرار الإجهاد المنتظم للخلايا هو الذي يجبرها على الموت. وأخيراً، هناك نظرية ثالثة يدافع عنها علم الوراثة المعاصر هي نظرية الجينات المطيلة للعمر gérontogènes(٧)، أي وجود جينات مسؤولة عن فترة حياة طويلة، لم تتم البرهنة عليه بعد. وقد لاحظت دراسات عدة وجود متغيرات جينية مقترنة بحياة طويلة، وأكثر شيوعاً لدى أبناء ١٠٠ أو ٩٠ سنة. ويبدو في الواقع أن هناك حوالي ١٠ جينات مقترنة بدرجة كبيرة بحياة طويلة، تأكدت ثلاثة منها لدى جماعات عدة، في حين لوحظت آثارها على حيوانات التجارب.

---

(٦) (الإنهاض Hormèse (من اليونانية *إنهاض (hórmēsis)* "الحركة السريعة، أو الحماس، " ومن اليونانية القديمة *إنهاض (hormáein)* "الوضع في الحركة، والدفع، والحث على") هو عبارة عن الاستجابات البيولوجية المواتية بشكلٍ عام للتعرضات الخفيفة من السموم وعوامل الإجهاد الأخرى. من ثم يكون للملوث أو السم المسبب للإنهاض تأثير معاكس في حالة تناول الجرعات المنخفضة يشبه آثار تناول الجرعات الكبيرة. ويشير مفهوم المناعة السمية، وهو مفهوم ذو صلة، إلى التعرض المتعمد للسموم في محاولة لتطوير المناعة ضدها. والمصطلح المُقترح لدراسة الإنهاض وعلومه هو علم المنهضات. وفي علم السموم، الإنهاض هو ظاهرة استجابة الجرعة التي تتميز بتنشيط جرعة منخفضة، وتثبيط جرعة عالية، مما ينتج عنه استجابة للجرعة على شكل حرف J أو على شكل حرف U مقلوب. وتم أيضًا وصف تلك العوامل البيئية التي قد تنتج استجابة إيجابية بـ "إجهاد مفيد (eustress) ". هذا وقد خضع نموذج استجابة الجرعة للإنهاض لمناظراتٍ حادة. ولا تحظى فكرة الإنهاض كظاهرة مهمة أو شائعة في الأنظمة البيولوجية، بقبولٍ واسع. ولم تُفهم الآليات البيوكيميائية التي يعمل بها الإنهاض فهمًا جيدًا. فمن المحتمل أن تقوم الجرعات المنخفضة من السموم أو غيرها من مسببات الكرب بتنشيط آليات ترميم الجسد. ولا تقوم عملية الترميم تلك بإصلاح الضرر الناجم عن السُم فقط، ولكنها أيضًا تعالج الضرر الطفيف الذي قد يكون تراكمًا قبل تنشيط آلية الترميم. المترجم).

(٧) (الجينات التي تشارك في تنظيم طول العمر أو تقدم عملية الشيخوخة. المترجم).

إن أول هذه الجينات هو الجين APOE، أي صميم البروتين الشحمي E، وهو ناقل للكوليسترول في الأنسجة. ويوجد منه ثلاثة متغيرات: E2، E3، E4 لها قدرة متغيرة على امتصاص الكوليسترول ونقله، ويعتبر المتغير E4 الأكثر فعالية. وخلال التطور البشري، ساعد ظهور المتغير E4 البشر من ذوي البشرة الداكنة على صناعة فيتامين د بسهولة أكبر انطلاقاً من الدهن الموجود في اللحم. ثم ظهر المتغير E2، وهو ناقل للكوليسترول أقل فاعلية، يتطور لدى السكان من ذوي البشرة الأفتح. إن طول العمر مرتبط بتواتر أكثر ارتفاعاً للمتغير E2، وأقل انخفاضاً للمتغيرE4. ويسهل المتغير E4 على الأرجح تراكم الكوليسترول، ويساهم في خلق حالة التهابية، ويحد من طرح الببتيد أميلويد في الدماغ (انظر الفصل العاشر). وهناك جينات أخرى اكتشفت لدى حيوانات التجارب، مثل الربداء الرشيقة Caenorhabditis elegans أو ذبابة الفاكهة، تتصرف مثل جينات تسهل زيادة طول العمر، وهي زيادة تصل إلى أكثر من ٣٠٪ لدى الربداء الرشيقة، وأكثر من ٢٠٪ لدى الذبابة. وتجدر الإشارة إلى الجين الوراثي FOXO. عندما ينشط هذا الجين بفعل انخفاض إفراز الأنسولين، فإنه يسهل التخلص من البروتينات المتأكسدة والبروتينات غير المكتملة أو التالفة في الخلية، ويساهم بالتالي في تحسين طول عمر الأعضاء. ويترك الجين لدى الذبابة أثراً يحمي من تنكس العصبونات. أما لدى الإنسان، فقد برهنت دراسات عدة على أن زيادة طول العمر مقترنة بمتغيرات الجين الوراثي FOXO.

اكتشف في عام ١٩٧٧جين ثالث مدهش، يسمى كلوتو KLOTHO[٨]، و يعتبر أحد الجينات المسؤولة عن تغير مهم في طول عمر الفئران التي أجريت الدراسة عليها. تقترن أيضاً متغيرات الجين كلوتو البشري بانخفاض معدل الحياة، وبظهور أمراض تميز الشيخوخة سابقة الأوان، مثل ضمور العضلات، وثخن جدار الأوعية الدموية. أما الشيخوخة المتسارعة التي

---

(٨) (السبب الأساسي الذي يقتلنا هو عملية تباطء تجدد الخلايا المرتبطة بعامل الهدم (الزمن)، بما أننا وصلنا إلى الخلية فمن الجدير بالذكر أن العلماء لم يستطيعوا إلى الآن أن يجدوا السبب وراء تباطء عملية تجدد الخلايا، وهي العملية التي تؤدي إلى موتنا، ولكنهم اكتشفوا مورث (جين) في الـ DNA لذبابة الفكاهة يستطيع تأخير العملية بنسبة ٣٠٪ يسمى هذا الجين (Peptide) أو (Klotho) وهو اسم إله إغريقي. المترجم).

تحرضها طفرات الجين كلوتو فتستخدم آلية هرمونية، تنطوي على انخفاض آثار الأنسولين، وعامل النمو شبيه الأنسولين-١ (IGF-1)[٩].

كلوتو KLOTHO، جين طول العمر الذي يحسن الذاكرة

تجسد ثلاث من الآلهة، ليه موار Les Moires (من اليونانية القديمة Μοῖραι)[١٠]، القدر في الأسطورة الإغريقية. الأولى هي كلوتوClotho (الغزالة أو الناسجة) التي تنسج خيط الحياة وقت الولادة. والثانية لاشيزيس Lachésis (الموزعة) فتجدل خيط الوجود، وتحدد بالتالي طوله. والثالثة أتروبوس Atropos، المحتومة، فتقطع الخيط: إنها تقرر، والحالة هذه، الموت. وقد أطلق اسم كلوتو على الجين KLOTHO، الذي تقوي طفرته شيخوخة متسارعة، وتخفض عمر الفئران إلى حوالي شهرين تقريباً. وعلى العكس من ذلك، يزيد التعبير الفائق لهذا الجين طول العمر. ويستمر أثر الجين كلوتو KLOTHO طوال الحياة، ويتناقص تدريجياً مع التقدم في العمر. قارن فريق دينا دوبال Dena Dubal، المختصة في البيولوجيا العصبية في جامعة سان فرنسيسكو، مجموعتين من الأشخاص يحملون أو لا يحملون نسخة من المتغير KL-VS للجين KLOTHO في الحمض النووي الريبوزي منقوص الأوكسجين DNA. لاحظ الباحثون أن الأشخاص الذين لديهم نسخة من المتغير KL-VS للجين KLOTHO يحصلون على نتائج أفضل في الاختبارات المعرفية من الذين ليست لديهم نسخة منه. فعندما يتم تحليل نتائج الاختبارات تحليلاً دقيقاً، يلاحظ تحسن في الأداء، مثل التعلم، والذاكرة، والانتباه. وفضلاً عن ذلك، إن وجود المتغير في الحمض النووي الريبوزي منقوص الأوكسجين مقترن بحياة أطول، وبخطر محدود بإصابة وعائية دماغية، الأمر الذي يؤدي إلى العكس في حالة غياب المتغير.

ينتج الأشخاص الذين يملكون المتغير KL-VS للجين كلوتو KLOTHO البروتين الذي يصنعه هذا الجين لوقت أطول. يؤثر هذا البروتين في عمل المشبكات والوصلات العصبونية

---

(٩) (عامل النمو الذي يشبه الأنسولين (IGF-1)، ويسمى أيضاً سوماتوميدين C، هو بروتين في البشر يتم ترميزه بواسطة جينات الـ IGF1 كما أحيل IGF-1 على أنه "عامل الكبرتة"، وقد وصفت آثاره بـ"نشاطات أنسولينية غير قابلة للقمع " (NSILA) في ١٩٧٠.

(١٠) (ليه موار(باليونانية القديمة: Μοῖραι)، في الميثولوجيا الإغريقية هن ثلاث أخوات يُجَسدن القدر. تم تحديد عددهن بثلاث، وأسماؤهن كلوتو (الغزالة أو الناسجة)، لاشسيس (الموزعة)، وأتروبوس (حرفيًا "التي لا يمكن تفاديها"، أي الموت). تُعتبر ليه موار في التيوغونيا بنات الإلهة نيكس ولهن السلطة على الآلهة. وأما في *الجمهورية* لأفلاطون فيعتبرن بنات أنانكي. المترجم).

فيزيد فعاليتها. وتفسر هذه الفعالية بزيادة صنع مستقبلات GluN2B، الضرورية لعمل دارات الذاكرة والتعلم. إن انخفاض معدل البروتين الين يصنعه الجين كلوتو KLOTHO مع التقدم في العمر هو بحسب الباحثين أصل انخفاض الأداء في الاختبارات المعرفية، التي تقيس الانتباه، والذاكرة، والتعلم.

يرتبط الدماغ إذن، وهو عضو عصري، ارتباطاً كبيراً ببيئته. ويرتبط أداء داراته بآليات ترميم وتجديد دائمة، واكتشاف للعديد من أوجه القصور الجزيئي. فالشيخوخة ليست بالتأكيد آلية نشطة للتدهور المبرمج: إنها على الأرجح نتيجة ترميم الوصلات، والتخلص من البروتينات المتأكسدة، والانخفاض التدريجي للعديد من العوامل التي تحيط بحياة العصبونات، وتُسهلها. والدماغ عضو "فاخر" حساس جداً، معتاد على البذخ، ولا يميل كثيراً للعمل في عالم فقير. وتوجد مفاتيح مقاومة الأمراض التنكسية على الأرجح في هذا الكم الهائل من الآليات الخليوية التي تصون وتخزن فعالية الدارات العصبونية وحسن سيرها.

خاتمة

لا يمتاز دماغ الإنسان بقدرات هائلة فحسب، بل يستطيع أيضاً اكتساب الجديد منها باستمرار، بفضل ما يطلق عليه علماء البيولوجيا العصبية اسم "اللدونة الدماغية". فمنذ التقدم الذي حصل في علم التشريح، والبيولوجيا الخليوية، وعلم الوراثة، وحالياً في التصوير عالي الدقة، بدأنا نعرف أكثر قليلاً عن عمل هذا العضو المعقد. وأن رسم خارطة له يعني أولاً معرفة كل مناطق القشرة الدماغية، وخصوصيتها، وأصالتها. فمن مفهوم الدماغ باعتباره خزانة لها أدراج حيث من المفروض أن تكون كل منطقة صغيرة من القشرة مختصة في تنفيذ مهمة معينة، إلى مشروع كونكتوم Connectome، انقضت مائة عام من التقدم والاكتشافات المدهشة التي ساهمت في تغيير فهمنا للمناطق التي ما تزال مجهولة إلى حد كبير وتعميقه. وقد رغبنا في هذا الكتاب أن نروي بالتفصيل قصة هذا التقدم وهذا الاستكشاف.

الدماغ، قبل كل شيء، تجمع كبير من الخلايا القادرة على التواصل فيما بينها. فهذه العصبونات الدبقة والمعقدة في ركام من المحوارات العصبية والألياف، تستطيع مع ذلك إيجاد كيف ومع من تتواصل. فمن الشبكة الصغيرة حيث آلاف الخلايا في حجم صغير جداً، إلى التواصل بعيد المدى الذي يمكن أن يصل إلى أكثر من ١٠ سم، يكون الدماغ في نشاط مستمر. فكل دماغ فريد، والبيئة هي العامل الرئيس في التفرد، وأكثر تفرداً هي الجينات التي تشكل ولا تفسر لماذا نشعر بالتعاطف الوجداني أو الحزن. وإذا كان هذا العضو ما يزال يتطور، كما برهن على ذلك خلال تطور الإنسان، فسوف نرى في غضون مليون سنة إنساناً عاقلا جديداً برأس كبير جداً.

تخدم لدونة الدماغ التعلم أولاً. فنحن نحرك أصابعنا لإنجاز مهمة دقيقة، ونكرر التمرين ٢٠ مرة في اليوم و٢٠٠ يوم في السنة، ونكتسب في نهاية المطاف موهبة، إذ إن التكرار أثار نمو منطقة من القشرة، التي زاد حجمها من أجل توفير جميع العصبونات الضرورية لتحقيق كامل لهذه الموهبة.

الدماغ فضولي. وهو بحاجة لاكتشاف آفاق جديدة باستمرار، وإلا فإنه "يصدأ"، ويتنكس. فالاهتمام، والحركة، والحيوية تخدمه. وهو يثمن ذلك: إنه يكافئنا فيطلق النوروترفينات، التي ترمم الوصلات التالفة، ويُسهل تكون وصلات جديدة، أكثر فعالية. إن ذاكرتنا مثال واضح على ذلك. وإن عدم كمالها ورقة رابحة: إنها تلصق أجزاء متناثرة من حكاية معيشة، وتخطئ في إعادة بناء أحجية، وتصنع بذلك صورة جديدة. ويمكن لهذه القدرة العفوية على التخيل أن تكون مفيدة لمواجهة موقف مجهول.

سيكون ممكناً على الأرجح يوماً ما، اكتشاف سر قدراتنا الذهنية، وفهم ما يجري عندما نفكر، بفضل الباحثين في مشروع كونكتوم. يملك هؤلاء الباحثون في الواقع تقنية عجيبة: تصوير الانتِشار المُوَتِّر (تصوير الانتشار)، الذي يساعد على رؤية الدماغ مثل شبكة عنكبوت هائلة، حيث تنسج آلاف المليارات من الوصلات بين مختلف الخيوط. فالعصبونات، مثل شبكة الويب المكونة من وحدات Réseau Web modulaire، تتصل من خلال شبكات، حيث تتمتع كل شبكة بتردد لإرسال الرسالة، كما في محطة الإذاعة تقريباً. يبدأ التصوير بدراسة عمل هذه الشبكات. ويستخدم كل تفكير أو قرار، خلافاً لتصوراتنا قبل ٣٠ عاماً، شبكات عدة، موزعة في مختلف فصوص الدماغ. فأحد هذه الفصوص، وهو الفص قبل الجبهي، هو هدية فاخرة حقيقية قدمتها الطبيعة للإنسان. ويتيح، بفضل تطوره الفائق، الكشف عما يفكر به الآخرون، والشك والتفكير وتقدير نتائج أفعالنا، بفضل وصلاته مع القشرة الحزامية، الأكثر مشاركة في الانفعالات. فإدارة الصراعات، والتكيف مع موقف جديد هما قدرتان عقليتان، وثمرتان لعمل شبكات العصبونات المتطورة جداً رغم أنهما يوميتان.

يمكن لدارات الوصلات هذه أن تستخدم اتصالات بسرعة كبيرة، لا سيما بفضل مختلف النواقل العصبية، وهي مقو حقيقي لإرسال الاتصالات السريعة. ومن هذه النواقل العصبية: الدوبامين المشارك في كل ما يجعلنا نرغب أو نتحرك، فيعمل مثل محرك كيميائي لسلوكياتنا، ويحول

البعض إلى كائنات مشبوبة العاطفة. وهو ضمان لتفاؤلنا ولرغبتنا في الحياة. أما الأوسيتوسين فيمنحنا الثقة بنفسنا وبالآخرين، ويُسهل بذلك العلاقات الاجتماعية.

تتمثل إحدى قدراتنا العقلية الأكثر استخداماً في الذاكرة، وهي إرث مكتسب من أسلافنا، أي الثدييات الصغيرة التي كان بقاؤها يرتبط بالتنقل الدائم بحثاً عن الغذاء. كان ينبغي لأجل هذا الغرض تذكر الأماكن والممرات، وهذه الذاكرة المكانية محفوظة حقاً وحقيقة مثل خارطة عصبونات في الحصين، بوصفه نظاماً طبيعيا حقيقياً لتحديد المواقع. وما يزال اكتشاف أسرار النسيان تحدياً كبيراً للباحثين. ألا يتعلق الأمر بكل بساطة بخلط مبرمج للمعلومات العديدة التي تم حفظها، يتيح لنا تكوين ذكريات زائفة؟

تكمن قدرة أخرى خاصة بخارطة الدماغ المعقدة في الإبداعية. كيف نفسر ظهور الإبداع بصورة فجائية؟ كيف نشرح ظهور موهبة جديدة في الرسم أو الكتابة، تبرز لدى بعض ضحايا حادث وعائي: هل هي جهد الفص الجبهي الذي يسعى للتكيف، من أجل البقاء؟ ما الذي يجري لدى عباقرة الحساب أو الذاكرة؟ إنهم يُنشطون حسب الظاهر شبكات عصبونات بتطوير خبراتهم. ويثيرون بفضل التدريب، وصلات جديدة. وقد تكون العبقرية ثمرة لا تماثل الدماغ، وصراعاً تنافسياً بين الدماغ الأيمن التجريدي والمفهومي والدماغ الأيسر العقلاني، الذي يهتم بالتفاصيل ويرتبط ارتباطاً كبيراً بالعالم الواقعي.

إننا نعلم أن الموسيقى تهذب الأخلاق، وتترك آثاراً عديدة في الوصلات العصبونية. على سبيل المثال، يُنشط اللحن الذي يمحنا شعوراً بسرور كبير الجسم المخطط، ويطلق إفراز الدوبامين، مُثيراً بذلك دماغ الانفعالات. واستجابة لذلك، يمكن للإندروفينات التي تم إطلاقها أن تمنح ارتعاشاً أو قشعريرة. فممارسة الموسيقى بانتظام تُحفز ترميم الوصلات، وتعزز مخزوننا المعرفي، وتحد بذلك من شيخوخة الدماغ.

ولكن زيادة الحركة يمكن أن تكون أفضل وسيلة للمحافظة على دماغ بصحة جيدة. يكتشف الباحثون في الواقع إشارات كيميائية تطلقها العضلات، قادرة على تحفيز إنتاج عصبونات جديدة، وحماية وظائفنا المعرفية. ومن هذه الإشارات الإيريزين الذي ينبه، كما رأينا، الحصين، بعد التمرين، بتنشيط إطلاق النوروترفينات. ولكن الصحة العقلية، هي أيضاً وعلى وجه الخصوص، تجنب مراكمة المؤكسدات الفعالة التي تضر خلايانا وتصيب البروتينات بالصدأ. وتتمثل الوصفة على الأرجح في

اقتران التمارين البدنية بوارد معتدل من السعرات الحرارية لكي نجنب المراجل الخليوية، وهي الميتوكُندريات، صناعة فضلات مؤكسدة كثيرة. وإذا كان إرثنا الجيني، مع قليل من الحظ، مواتياً، فإن غذاء غنياً بمضادات الأكسدة الطبيعية يسهل استمرار حياة العصبونات خلال سنوات طويلة.

تكمن قدرة أخرى لدماغنا، ينبغي المحافظة عليها، في جودة النوم. فالنوم ضروري ليس للتعافي من تعب النهار فحسب، بل أيضاً لتنشيط دارات قادرة على ضبط الانفعالات، وحفظ أحداث اليوم السابق، وتنمية المخيلة، أو أيضاً ترميم المشبكات العصبية. وفضلاً عن ذلك، ينكمش الدماغ بالاسترخاء، ويقل حجمه قليلاً فيُسهل بذلك التخلص من الببتيد الأملويدي، وهي مادة سامة تتجمع بشكل خطير في دماغ المرضى الذين يعانون من مرض ألزهايمر. ومع ذلك، إن شيخوخة الدماغ الطبيعية أمر واقع، ولكن بما أن الدماغ يجيد مواجهة امتحان التقدم في العمر، فإنه أحد الأعضاء الأكثر تجهيزاً بالوسائل التي تضمن طول عمرنا.

إننا نفقد وصلات على وجه الخصوص ونحن نشيخ، لا سيما في القشرة قبل الجبهية والحصين، وهما منطقتان مسؤولتان عن الذاكرة، والتفكير، واتخاذ القرار. وإذا رأى البعض أن قدراتهم الذهنية تتراجع أكثر من غيرها، فإن الأمر متعلق بالهرمونات. ومن هذه الهرمونات، الأنسولين الذي يقوم على ما يبدو بدور رئيس. إنه يحد من زيادة الوزن وينشط، بفضل التمرين واستمرار إطلاقه بشكل مضبوط، آليات ترميم العصبونات، ويحسن القدرات المعرفية.

توجد جينات التدهور المعرفي على شكل متغيرات ضارة، تقلل من معدل الحياة، أو متغيرات مفيدة مقترنة بإمكانية زيادة طول العمر. إن أثر أحد هذه المتغيرات، وهو الجين كلوتو KLOTHO ، يتدخل في فعالية عمل المشبكات، فيسهل بذلك أفضل موثوقية للاتصالات الدماغية، حتى في عمر متقدم.

الدماغ غني، وحساس، ولكنه يتغير باستمرار، مثل الطفيلي الذي يستفيد بشكل دائم من الظروف البيئية ليكيف داراته بشكل أفضل مع التنفيذ الأمثل لسلوكياتنا. إنه إذن العامل الرئيس لبقائنا، ولتفاؤلنا ، ولطول عمرنا.

قائمة بالمختصرات

المقابل العربي	الأصل الأجنبي	المختصر
مقياس تقييم مرض ألزهايمر المعرفي	Alzheimer's Disease Assessment Scale-Cognitive subscale	ADAS-Cog
حمض نووي ريبوزي منقوص الأوكسجين	Acide désoxyribonucléique	ADN
عامل التغذية العصبية المستمد من الدماغ	Bain-derived neurotrophic factor/ Facteur neurotrophique dérivé du cerveau	BDNF
اختلاف مستوى الأوكسجين في الدم	Blood Oxygenation Level Dependant/ Dépendant du niveau d'oxygène sanguin	Bold
مفوضية الطاقة الذرية والطاقات البديلة	Commissariat à l'énergie atomique et aux énergies alternatives	CEA
مركز استشفائي جامعي	Centre Hospitalier Universitaire	CHU

EEG	Électroencéphalographie	تخطيط أمواج الدماغ
GABA	Acide γ-aminobutyrique	حمض الغاما–أمينوبيوتيريك
GPS	Global Positioning System	النظام العالمي لتحديد المواقع
IBM	International Business Machines	شركة آي بي إم
Inserm	Institut national de la santé et de la recherche médicale	المعهد الوطني للصحة والبحث الطبي
IRM-DTI (IRMD)	l’IRM de diffusion	تصوير الانتِشار المُوَتِّر (تصوير الانتشار)
IRMf	Imagerie par résonance magnétique fonctionnelle	تصوير بالرنين المغناطيسي الوظيفي
LCS	Liquide cérébrospinal	سائل دماغي شوكي
MEG	Magnétoencéphalographie	تخطيط الدماغ المغناطيسي
MMS	Mini-mental state (MMS) ou mini-mental state examination (MMSE) ou test de Folstein)	اختبار الحالة العقلية المصغر أو اختبار فلوشتاين
QI	Quotient intellectuel	نسبة الذكاء
ROS	Reactive oxygen species (ROS)/ Dérivés réactif de l'oxygène (DRO)	أنواع الأوكسجين التفاعلية
TEP	Tomographie par émission de positons	تصوير مقطعي بالإصدار البوزيتروني
Unicog	Unité de recherche en Neuroimagerie Cognitive	وحدة التصوير الإدراكي العصبي

المراجع

Chapitre I

M. Balter, «Are human brains still evolving ? Brain genes show signs of selection», *Science*, 2005, 309, 5741, p. 1662-1663.
G. A. Blokland, G. I. de Zubicaray, K. L. McMahon *et al.*, «Genetic and environmental influences on neuroimaging phenotypes: A meta-analytical perspective on twin imaging studies », *Twin Res. Hum. Genet.*, 2012, 15, 3, p. 351-371.
J. Gu et R. Kanai, «What contributes to individual differences in brain structure? », *Front. Hum. Neurosci.,* 2014, 8, p. 262.
M. A. Hofman, «Evolution of the human brain : When bigger is better», *Front. Neuroanat.*, 2014, 8, p. 15.
P.-M. Lledo, «L'étonnante plasticité du cerveau humain», *Le Figaro Santé*, octobre 2012.
S. Mueller, D. Wang, M. D. Fox *et al.*, «Individual variability in functional connectivity architecture of the human brain», *Neuron*, 2013, 77, p. 586-595.
P. M. Thompson, T. D. Cannon, K. L. Narr *et al.*, «Genetic influences on brain structure», *Nat. Neurosci.*, 2001, 4, 12, p. 1253-1258.
R. J. Zatorre, «Predispositions and plasticity in music and speech learning: Neural correlates and implications», *Science*, 2013, 342, 6158, p. 585-589.

Chapitre II
Y. Chang, «Reorganization and plastic changes of the human brain associated with skill learning and expertise», *Front. Hum. Neurosci.*, 2014, 8, p. 35.
G. Gandolfo, F. Grammont, «Les divers aspects de la neuroplasticité», *Biologie-géologie. Bulletin de l'APBG*, 2005, 2, p. 291-312.
E. R. Glasper, T. J. Schoenfeld, E. Gould, «Adult neurogenesis: Optimizing hippocampal function to suit the environment», *Behav. Brain Res.*, 2012, 227, 2, p. 380-383.
M. A Kheirbek, R. Hen, « (Radio) active neurogenesis in the human hippocampus», *Cell*, 2013, 153, 6, p. 1183-1184.
F. Nottebohm, «Neuronal replacement in adult brain», *Brain Res. Bull.*, 2002, 57, 6, p. 737-749.
S. R. Quartz, T. J. Sejnowski, «The neural basis of cognitive development : A constructivist manifesto», *Behav. Brain Sci.*, 1997, 20, p. 537-556.
A. J. Watrous, N. Tandon, C. R. Conner *et al.*, «Frequency-specific network connectivity increases underlie accurate spatiotemporal memory retrieval», *Nat. Neurosci.*, 2013, 16, 3, p. 349-356.

Chapitre III
L. Capuron, N. Castanon, «La dépression, due à une inflammation?», *Cerveau et psycho*, 2014, 63, p. 70-75.

A. Golkar, T. B. Lonsdorf, A. Olsson *et al.*, «Distinct contributions of the dorsolateral prefrontal and orbitofrontal cortex during emotion regulation», *PLoS One*, 2012, 7, 11, e48107.
E. J. Hermans, F. P. Battaglia, P. Atsak *et al.*, «How the amygdala affects emotional memory by altering brain network properties», *Neurobiol. Learn. Mem.*, 2014, 112, p. 2 -16.
T. J. Shors, L. M. Anderson, D. M. Curlik *et al.*, «Use it or lose it : How neurogenesis keeps the brain fit for learning », *Behav. Brain Res.*, 2012, 227, 2, p. 450-458.
A. S. Troy, F. H. Wilhelm, A. J. Shallcross *et al.*, «Seeing the silver lining : Cognitive reappraisal ability moderates the relationship between stress and depressive symptoms», *Emotion*, 2010, 10, 6, p. 783-795.
T. D. Wager, M. L. Davidson, B. L. Hughes *et al.*, «Prefrontal-subcortical pathways mediating successful emotion regulation», *Neuron*, 2008, 59, 6, p. 1037-1050.

Chapitre IV
J.-D. Clayden, «Imaging connectivity: MRI and structural networks of the brain», *Funct. Neurol.*, 2013, 28, 3, p. 197-203.
J. W. Lichtman, W. Denk, «The big and the small: Challenges of imaging the brain's circuits», *Science*, 2011, 33, 6056, p. 618-623.
H. Markram, «The Blue Brain Project», *Nat. Rev. Neurosci.*, 2006, 7, 2, p. 153-160.
H. J. Park, K. Friston, «Structural and functional brain networks: From connections to cognition», *Science*, 2013, 342, 6158, p. 579-586.
M. H. Rosenbloom, J.-D. Schmahmann, B. H. Price, «The functional neuroanatomy of decision-making», *J. Neuropsych. Clin. Neurosci.*, 2012, 24, 3, p. 266-277.
O. Sporns, «Structure and function of complex brain networks», *Dialogues Clin. Neurosci.,* 2013, 15, p. 247-262.
O. Sporns, «The human connectome: Origins and challenges», *NeuroImage*, 2013, 80, p. 53-61.
C. J. Stam, E. C. Van Straaten, «The organization of physiological brain networks », *Clin. Neurophysiol.*, 2012, 123, 6, p. 1067-1087.
V. J. Wedeen, D. L. Rosene, R. Wang *et al.*, « The geometric structure of the brain fiber pathways», *Science*, 2012, 335, 6076, p. 1628-1633.
K. Zilles, K. Amunts, «Neuroscience. Segregation and wiring in the brain», *Science*, 2012, 335, 6076, p. 1582-1584.

Chapitre V
B. C. Bernhardt, T. Singer, «The neural basis of empathy», *Annu. Rev. Neurosci.*, 2012, 35, p. 1-23.
J. Burgdorf, J. Panksepp, «The neurobiology of positive emotions», *Neurosci. Biobehav. Rev.*, 2006, 30, 2, p. 173-187.
G. Bush, P. Luu, M. I. Posner, «Cognitive and emotional influences in anterior cingulate cortex», *Trends Cogn. Sci.*, 200, 4, 6, p. 215-222.
R. Cools, A. C. Roberts, T. W. Robbins., «Serotoninergic regulation of emotional and behavioural control processes», *Trends Cogn. Sci.*, 2008, 12, 1, p. 31-40.
G. Di Pellegrino, L. Fadiga, L. Fogassi *et al.*, «Understanding motor events : A neurophysiological study», *Exp. Brain Res.*, 1992, 91, 1, p. 176-180.
D. Kiser, B. Steemers, I. Branchi *et al.*, « T he reciprocal interaction between serotonin and social behaviour », *Neurosci. Biobehav. Rev.*, 2012, 36, 2, p. 786-798.
M. L. Kringelbach, K. C. Berridge, «Towards a functional neuroanatomy of pleasure and happiness», *Trends Cogn. Neurosci.,* 2009, 13, 11, p. 479-487.
M. P. Mattson, «Superior pattern processing in the essence of the evolved human brain», *Front. Neurosci.,* 2014, 8, p. 265.
K. Miyazaki, K. W. Miyazaki, K. Doya, «The role of serotonin in the regulation of patience and impulsivity», *Mol. Neurobiol.*, 2012, 45, 2, p. 213-224.

H. Ollat, «Les fonctions du cortex cingulaire antérieur dorsal», *Neuropsychiatrie. Tendances et débats*, 2005, 26, p. 15-21.

J. Panksepp, J.-B. Panksepp, «Toward a cross-species understanding of empathy», *Trends Neurosci.*, 2013, 36, 8, p. 489-496.

J. M. Pearson, K. K. Watson, M. L. Platt, « Decision making: The neuroethological turn», *Neuron*, 2014, 82, 5, p. 950-965.

S. D. Preston, F. B. de Waal, « Empathy: its ultimate and proximate bases», *Behav. Brain Sci.*, 2002, 25, 1, p. 1-20.

M. F. Rushworth, M. P. Noonan, E. D. Boorman *et al.*, «Frontal cortex and reward-guided learning and decision-making», *Neuron*, 2011, 70, 6, p. 1054-1069.

K. T. Schmidt, D. Weinschenker, « Adrenaline rush: The role of adrenergic receptors in stimulant-induced behaviors », *Mol. Pharmacol.*, 2014, 85, 4, p. 640-650.

K. Teffer, K. Semendeferi, «Human prefrontal cortex: Evolution, development and pathology», *Prog. Brain Res.*, 2012, 195, p. 191-218.

Chapitre VI

R. L. Buckner, «The role of the hippocampus in prediction and imagination», *Annu. Rev. Psychol.*, 2010, 61, p. 27-48.

H. Eichenbaum, « Time cells in the hippocampus: A new dimension for mapping memories », *Nat. Rev. Neurosci.*, 2014, 15, 11, p. 732-744.

B. A. Kuhl, N. M. Dudukovic, I. Kahn *et al.*, «Decreased demands on cognitive control reveal the neural processing benefits of forgetting», *Nat. Neurosci.*, 2007, 10, 7, p. 908-914.

J. E. Lisman, O. Jensen, «The theta-gamma neural code», *Neuron*, 2013, 77, 6, p. 1002-1016.

L. Nadel, O. Hardt, «Update on memory systems and processes», *Neuropsychopharmacol.,* 2011, 36, 1, p. 251-273.

B. R. Postle, « Working memory as an emergent property of the mind and brain », *Neuroscience,* 2006, 139, 1, p. 23-38.

L. R. Squire, J. T. Wixted, «The cognitive neuroscience of human memory since H. M. », *Ann. Rev. Neurosci.*, 2011, 34, p. 259-288.

Chapitre VII

R. E. Beaty, «The neuroscience of musical improvisation», *Neurosci. Biobehav. Rev.*, 2015, 51, p. 108-117.

B. Butterworth, «What makes a prodigy? », *Nat. Neurosci.*, 2001, 4, 1, p. 11-12.

V. Goel, «Creative brains: Designing in the real world», *Front. Hum. Neurosci.*, 2014, 8, p. 241.

S. Koelsch, «Towards a neural basis of music-evoked emotions», *Trends Cogn. Sci.*, 2010, 14, 3, p. 131-137.

N. Mayseless, F. Uzefovsky, I. Shalev *et al.*, «The association between creativity and 7R polymorphism in the dopamine receptor D4 gene(DRD4)», *Front. Hum. Neurosci.*, 2013, 7, p. 502.

F. J. Navas-Sanchez, Y. Aleman-Gomez, J. Sanchez-Gonzales *et al.*, «White matter microstructure correlates of mathematical giftedness and intelligence quotient », *Hum. Brain Mapp.,* 2014, 35, 6, p. 2619-2631.

D. W. Zaidel, «Creativity, brain and art: Biological and neurological considerations», *Front. Hum. Neurosci.*, 2014, 8, p. 389.

Chapitre VIII

J. Fell, N. Axmacher, S. Haupt, «From alpha to gamma: Electrophysiological correlates of meditation-related states of consciousness», *Med. Hypotheses*, 2010, 75, 2, p. 218-224.

K. Hötting, K. B. Röder, «Beneficial effects of physical exercise on neuroplasticity and cognition», *Neurosci. Biobehav. Rev.*, 2013, 37, 9PtB, p. 2243-2257.

V. Jindal, S. Gupta, R. Das, «Molecular mechanisms of meditation», *Mol. Neurobiol.*, 2013, 48, 3, p. 808-811.

D. L. Korol, P. E. Gold, C. J. Scavuzzo, «Use it and boost it with physical and mental activity», *Hippocampus,* 2013, 23, 11, p. 1125-1135.

S. Kühn, T. Gleich, R. C. Lorenz, U. Lindenberger *et al.,* « Playing Super
Mario induces structural brain plasticity: Gray matter changes resulting from training with a commercial videogame », *Mol. Psychiatry*, 2014, 19,
2, p. 265-271.

I. Lista, G. Sorrentino, «Biological mechanisms of physical activity in preventing cognitive decline», *Cell. Mol. Neurobiol.*, 2010, 30, 4, p. 493-503.

R. Nouchi, Y. Taki, H. Takeuchi *et al.*, «Brain training game boosts executive functions, working memory and processing speed in the young adults: A randomized controlled trial», *PloS One*, 2013, 8, 2, e55518.

X. L. Qi, C. Constantinidis, «Neural changes after training to perform cognitive tasks», *Behav. Brain Res.*, 2013, 241, p. 235-243.

N. Scarmeas, Y. Stern, «Cognitive reserve and lifestyle», *J. Clin. Exp. Neuropsychol.*, 2003, 25, 5, p. 625-633.

H. Van Praag, «Exercise and the brain: Something to chew on», *Trends
Neurosci.*, 2009, 32, 5, p. 283-290.

J. A. Zoladz, A. Pilc, «The effect of physiological activity on the brain derived neurotrophic factor: From animal to human studies », *J. Physiol. Pharmacol.*, 2010, 61, 5, p. 533-541.

Chapitre IX

I. Allaman, M. Belanger, P. J. Magistretti, «Methylglyoxal, the dark side
of glycolysis », *Front. Neurosci*., 2015, 9, p. 23.

S. A. Amiel, «Organ fuel selection: Brain », *Proc. Nutrition Soc.*, 1995, 54, 1, p. 151-155.

G. Barja, «Free radicals and aging», *Trends Neurosci.*, 2004, 27, 10, p. 595-600.

C. I. Janssen, A. J. Kiliaan, «Long-chain polyunsaturated fatty acids (LCPUFA) from genesis to senescence: The influence of LCPUFA on neural development, aging and neurodegeneration», *Prog. Lipid Res.*, 2014, 53, p. 1-17.

X. Jia, G. McNeill, A. Avenell, «Does taking vitamin, mineral and fatty acid supplements prevent cognitive decline? A systematic review of randomized trials», *J. Hum. Nutr. Diet*, 2008, 21, 4, p. 317-336.

J. Jiao, Q. Li, J. Chu *et al.*, «Effect of n-3 PUFA supplementation on cognitive function throughout the life span from infancy to old age: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials», *Am. J. Clin. Nutr.*, 2014, 100, 6, p. 1422-1436.

D. O. Kennedy, E. L. Wightman, «Herbal extracts and phytochemicals: Plant secondary metabolites and the enhancement of human brain function», *Adv. Nutr.*, 2011, 2, 1, p. 32-50.

M. P. Mattson, «Lifelong brain health is a lifelong challenge: From evolutionary principles to empirical evidence», *Ageing Res. Rev.*, 2015, 20, p. 37-45.

A. Popa-Wagner, S. Mitran, S. Sivanesan *et al.*, «ROS and brain diseases: The good, the bad and the ugly», *Oxid. Med. Cell. Longev.*, 2013, ID 963520.

J. P. Spencer, «The impact of fruit flavonoids on memory and cognition», *Br. J. Nutr.*, 2010, 104, p. S40-S47.

H. Van Praag, M. Fleshner, M. W. Schwartz *et al.*, «Exercise, energy intake, glucose homeostasis, and the brain», *J. Neurosci.*, 2014, 34, 46, p. 15139-15149.

Chapitre X

S. Diekelmann, J. Born, «The memory function of sleep», *Nat. Rev. Neurosci.*, 2010, 11, 2, p. 114-126.

N. Goel, M. Basner, H. Rao *et al.*, «Circadian rythms, sleep deprivation, and human performance», *Prog. Mol. Biol. Transl. Sci.*, 2013, 119, p. 155-190.
M. Gorgoni, A. D'Atri, G. Lauri *et al.*, «Is sleep essential for neural plasticity in humans, and how does it affect motor and cognitive recovery? », Neur. *Plast.*, 2013, ID103949.
W. D. Killgore, «Effects of sleep deprivation on cognition», *Prog. Brain Res.*, 2010, 185, p. 105-129.
P. Meerlo, R. E. Mistlberger, B. L. Jacobs *et al.*, «New neurons in the adult brain: The role of sleep and consequences of sleep loss», *Sleep Med. Rev.*, 2009, 13, 3, p. 187-194.
M. J. Parsons, K. J. Lester, N. L. Barclay *et al.*, «Polymorphisms in the circadian expressed genes PER3 and ARNTL2 are associated with diurnal preference and GNbeta3 with sleep measures», *J. Sleep Res.*, 2014, 23, 5, p. 595-604.
T. Porkka-Heiskanen, «Sleep homeostasis », *Curr. Opin. Neurobiol.*, 2013, 23, 5, p. 799-805.
J. C. Roth II, N. C. Rattenborg, V. V. Pravosudov, «The ecological relevance of sleep: The trade-off between sleep, memory and energy conservation», *Phil. Trans. R. Soc. B*, 2010, 365, 1542, p. 945-959.
D. L. Schacter, S. A. Guerin, P. L. St. Jacques, «Memory distorsion: an adaptative perspective», *Trends Cogn. Sci.*, 2011, 15, 10, p. 467-474.
J. M. Siegel, «Clues to the function of mammalian sleep», *Nature*, 2005, 437, p. 1264-1271.
R. Stickgold, «Parsing the role of sleep in memory processing», *Curr. Opin. Neurobiol.*, 2013, 23, 5, p. 847-853.
G. Tononi, C. Cirelli, «Sleep and the price of plasticity: From synaptic and cellular homeostasis to memory consolidation and integration», *Neuron*, 2014, 81, 1, p. 12-34.
L. Xie, H. Kang, Q. Xu *et al.*, «Sleep drives metabolic clearance from the adult brain», *Science*, 2013, 342, 6156, p. 373-377.

Chapitre XI

A. A. Akintola, D. Van Heemst, «Insulin, aging and the brain: Mechanisms and implications», *Front. Endocrinol. (Lausanne),* 2015, 6, p. 13.
J. A. Bravo, M. Julio-Pieper, P. Forsythe *et al.*, «Communication between gastrointestinal bacteria and the nervous system», *Curr. Opin. Pharmacol.*, 2012, 12, 6, p. 667-672.
A. R. Brooks-Wilson, «Genetics of healthy aging and longevity», *Hum. Genet.*, 2013, 132, p. 1323-1338.
D. B. Dubal, J. S. Yokoyama, L. Zhu *et al.*, «Life extension factor *Klotho* enhances cognition», *Cell Rep.*, 2014, 7, 4, p. 1065-1076.
I. Gkikas, D. Petratou, N. Tavernarakis, «Longevity pathways and memory aging», *Front. Genetics*, 2014, 5, p. 155.
C. N. Harada, M. C. Natelson Love, K. L. Triebel, «Normal cognitive aging», *Clin. Geriatr. Med.*, 2013, 9, 4, p. 737-752.
E. Hogervorst, « Effects of gonadal hormones on cognitive behaviour in elderly men and women», *J. Neuroendocrinol.*, 2013, 25, 11, p. 1182-1195.
E. A. Mayer, «Gut feelings: The emerging biology of gut-brain communications», *Nat. Rev. Neurosci.*, 2011, 12, 8, p. 453-466.
E. Pannese, «Morphological changes in nerve cells during normal aging», *Brain Struct. Funct.*, 2011, 216, 2, p. 85-89.
H. E. Wheeler, S. K. Kim, «Genetics and genomics of human ageing», *Phil. Trans. R. Soc. Lond. B Biol. Sci.*, 2011, 366, 1561, p. 43-50.

ثبت المصطلحات

أولاً: عربي- فرنسي

أ

إجهاد	Stress
أداء	Performance
إدراك	Perception
إعادة قولبة/ إعادة تشكيل	Remodelage
آفة	Lésion
أمراض عصبية تنكسية	Maladies neurodégénératives
انطباعة	Engramme
أُنَيْسان	Homoncule
أيض، استقلاب	Métabolisme

ب

باحة، منطقة	Aire
بضع الصوار	Commissurotomie
بطين، تجويف	Ventricule

ت

تخزين	Consolidation
تخطيط الدماغ المغناطيسي	Magnétoencéphalographie (MEG)
تخطيط أمواج الدماغ	Électroencéphalographie (EEG)

تخلق النسيج العصبي	Neurogenèse
تصوير الانتِشار المُوَتِّر (تصوير الانتشار)	Imagerie en tenseur de diffusion IRM-DTI (IRMd)
تصوير بالرنين المغناطيسي	Imagerie par Résonance Magnétique (IRM)
تصوير بالرنين المغناطيسي الوظيفي	Imagerie par Résonance Magnétique Fonctionnelle (IRMf)
تصوير شعاعي ذاتي	Autoradiographie
تصوير مقطعي بالإصدار البوزيتروني	Tomographie par émission de positons (TEP)
تغصنات (زوائد شجرية)	Dendrites
تفكير سائل	Raisonnement fluide
تلفيف حزامي	Gyrus cingulaire
تلفيف مسنن	Gyrus denté
تلفيف مغزلي	Gyrus fusiforme
تموضع	Localisation

ج

جانبية	Latéralisation
جبهي	Frontal
جسم جاسئ	Corps Calleux
جسم شاحب	Pallidum
جسم مخطط	Striatum
جهد الفعل	Action potentielle
جين	Gène
حزمة مقوسة	Faiseau arqué

ح

حصين	Hippocampe

حوفي	Limbique
خ	
خرائطية	Cartographie
خلط	Humeur
خلية جذعية	Cellule souche
خلية جذعية طليعية	Cellule souche précurseur
خلية دبقية	Cellule gliale
خلية نجمية	Astrocyte
د	
دبقي	Glial
ذ	
ذاكرة	Mémoire
ذاكرة انتقائية	Mémoire sélective
ذاكرة انفعالية، عاطفية	Mémoire émotionelle
ذاكرة تقريرية	Mémoire déclarative
ذاكرة عرضية	Mémoire épisodique
ذكاء بلوري	Intelligence cristallisée
ذكاء سائل	Intelligence fluide
ر	
رأب العصب	Neuroblaste
س	
سائل رأسي- سيسائي	Liquide céphalo-rachidien
سحايا	Méninges
سيال عصبي	Influx nerveux

ش

شوكة	Spina

ط

طب الجهاز العصبي	Neurologie
طرفي	Périphérique

ظ

ظهراني	Dorsal

ع

عسر القراءة والفهم	Dyslexie
عصب	Nerf
عصبون	Neurone
عقلي/ ذهني	Mental
علم فراسة الدماغ	Phrénologie
عمل	Fonctionnement

غ

غمد	Gaine

ف

فالج شقي	Hémiplégie
فص الجزيرة	Lobe de l'insula
فص جبهي أيسر	Lobe frontal gauche
فص جبهي حجاجي	Lobe orbito-frontal
فص جداري	Lobe pariétal
فص سفلي أيسر	Lobe frontal inférieur gauche
فص شمي	Lobe olfactif
فص صدغي	Lobe temporal

فص قبل جبهي	Lobe préfrontal
فص مجاور للحصين	Lobe parahippocampique

ق

قادمة المرفد	Presubiculum
قبل الجبهي	Préfrontal
قحافة	Crânioscopie
قدرات عقلية	Capacités mentales
قردة عليا	Hominidés
قشرة	Cortex
قشرة جبهية	Cortex frontal
قشرة جبهية جانبية يمنى	Cortex frontal latéral droit
قشرة جبهية حجاجية	Cortex orbito-frontal
قشرة جبهية ظهرانية جانبية	Cortex frontal dorsolatéral
قشرة جبهية متوسطة يمنى	Cortex frontal médian droit
قشرة جبهية يسرى	Cortex frontal gauche
قشرة جدارية	Cortex pariétal
قشرة جدارية خلفية	Cortex pariétal postérieur
قشرة حزامية	Cortex cingulaire
قشرة حزامية أمامية	Cortex cingulaire antérieur
قشرة حزامية أمامية ظهرانية	Cortex cingulaire antérieur dorsal
قشرة حزامية يمنى	Cortex cingulaire droit
قشرة حسية	Cortex sensitif
قشرة حوفية	Cortex limbique

قشرة صدغية	Cortex temporal
قشرة ظهرانية	Cortex dorsal
قشرة قبل جبهية	Cortex préfrontal
قشرة قبل جبهية ظهرانية	Cortex préfrontal dorsal
قشرة قبل جبهية ظهرانية جانبية	cortex préfrontal dorso-latéral
قشرة قبل جبهية متوسطة	Cortex préfrontal médian
قشرة قذالية	Cortex occipital
قوى عقلية، قدرات عقلية	Facultés mentales
قياس الأشكال	Morphométrie

ل

لدونة	Plasticité
لمفا	Lymphe
لوزة	Amyglade

م

ماتريس/ مادة أساسية/ مادة قاعدية	Matrice
مادة رمادية (سنجابية)	Matière grise
متقدرة (ميتوكندريون)	Mitochondrie
متلازمة عسر التنفيذ	Syndrome dysexécutif
مثبط/ كابح	Inhibiteur
مثير	Stimulus
مجال خلالي	Espace interstitiel
مجموعة شهيدة	Groupe témoin
محوار	Axone
مخيخ	Cervelet

مشاشة	Épiphyse
مشبك عصبي	Synapse
مُعدِل عصبي	Neuromodulateur
معرفة، إدراك	Cognition
منبه	Excitant
منطقة	Région
منطقة بروكا	Aire de Broca
مهاد	Thalamus
مؤخرة المرفد	Post-subiculum
موضع أزرق	Locus coeruleus
مؤكسد فعال	Oxydant Radical
ميالين/ نخاعين	Myéline

ن

ناقل عصبي	Neurotransmetteur
نتروفينات	Neutrophines
نمذجة	Modélisation
نواة متكئة	Noyau accumbens
نويات رمادية	Noyaux gris

هـ

هيموغلوبين، خضاب	Hémoglobine

و

وصلة	Connexion
وطاء (تحت المهاد)	Hypothalamus

ي

يقولب ، يشكل Modeler

ينمذج Modéliser

ثانيا: فرنسي- عربي

A

Action potentielle	جهد الفعل
Aire	باحة، منطقة
Aire de Broca	منطقة بروكا
Amyglade	لوزة
Astrocyte	خلية نجمية
Autoradiographie	تصوير شعاعي ذاتي
Axone	محوار

C

Capacités mentales	قدرات عقلية
Cartographie	خرائطية
Cellule gliale	خلية دبقية
Cellule souche	خلية جذعية
Cellule souche précurseur	خلية جذعية طليعية
Cervelet	مخيخ
Cognition	معرفة، إدراك
Commissurotomie	بضع الصوار
Connexion	وصلة
Consolidation	تخزين
Corps Calleux	جسم جاسئ
Cortex	قشرة
Cortex frontal latéral droit	قشرة جبهية جانبية يمنى
Cortex frontal gauche	قشرة جبهية يسرى

Cortex cingulaire antérieur	قشرة حزامية أمامية
Cortex cingulaire	قشرة حزامية
Cortex cingulaire antérieur dorsal	قشرة حزامية أمامية ظهرانية
Cortex cingulaire droit	قشرة حزامية يمنى
Cortex dorsal	قشرة ظهرانية
Cortex frontal	قشرة جبهية
Cortex frontal dorsolatéral	قشرة جبهية ظهرانية جانبية
Cortex frontal médian droit	قشرة جبهية متوسطة يمنى
Cortex limbique	قشرة حوفية
Cortex occipital	قشرة قذالية
Cortex orbito-frontal	قشرة جبهية حجاجية
Cortex pariétal	قشرة جدارية
Cortex pariétal postérieur	قشرة جدارية خلفية
Cortex préfrontal	قشرة قبل جبهية
Cortex préfrontal dorsal	قشرة قبل جبهية ظهرانية
cortex préfrontal dorso-latéral	قشرة قبل جبهية ظهرانية جانبية
Cortex préfrontal médian	قشرة قبل جبهية متوسطة
Cortex sensitif	قشرة حسية
Cortex temporal	قشرة صدغية
Crânioscopie	قحافة

D

Dendrites	تغصنات (زوائد شجرية)
Dorsal	ظهراني
Dyslexie	عسر القراءة والفهم

E

Électroencéphalographie (EEG) — تخطيط أمواج الدماغ

Engramme — انطباعة

Épiphyse — مشاشة

Espace interstitiel — مجال خلالي

Excitant — منبه

F

Facultés mentales — قوى عقلية، قدرات عقلية

Faiseau arqué — حزمة مقوسة

Fonctionnement — عمل

Frontal — جبهي

G

Gaine — غمد

Gène — جين

Glial — دبقي

Groupe témoin — مجموعة شهيدة

Gyrus cingulaire — تلفيف حزامي

Gyrus denté — تلفيف مسنن

Gyrus fusiforme — تلفيف مغزلي

H

Hémiplégie — فالج شقي

Hémoglobine — هيموغلوبين، خضاب

Hippocampe — حصين

Hominidés — قردة عليا

Homoncule — أُنَيْسان

Humeur	خلط
Hypothalamus	وطاء (تحت المهاد)

I

Imagerie en tenseur de diffusion IRM-DTI (IRMd)	(تصوير الانتشار) تصوير الانتِشار المُوَتَّر
Imagerie par Résonance Magnétique (IRM)	تصوير بالرنين المغناطيسي
Imagerie par Résonance Magnétique Fonctionnelle (IRMf)	تصوير بالرنين المغناطيسي الوظيفي
Influx nerveux	سيال عصبي
Inhibiteur	مثبط/ كابح
Intelligence cristallisée	ذكاء بلوري
Intelligence fluide	ذكاء سائل

L

Latéralisation	جانبية
Lésion	آفة
Limbique	حوفي
Liquide céphalo-rachidien	سائل رأسي- سيسائي
Lobe parahippocampique	فص مجاور للحصين
Lobe de l'insula	فص الجزيرة
Lobe frontal gauche	فص جبهي أيسر
Lobe frontal inférieur gauche	فص سفلي أيسر
Lobe olfactif	فص شمي
Lobe orbito-frontal	فص جبهي حجاجي
Lobe pariétal	فص جداري
Lobe préfrontal	فص قبل جبهي
Lobe temporal	فص صدغي
Localisation	تموضع

Locus coeruleus	موضع أزرق
Lymphe	لمفا

M

Magnétoencéphalographie (MEG)	تخطيط الدماغ المغناطيسي
Maladies neurodégénératives	أمراض عصبية تنكسية
Matière grise	مادة رمادية (سنجابية)
Matrice	ماتريس/ مادة أساسية/ مادة قاعدية
Mémoire	ذاكرة
Mémoire déclarative	ذاكرة تقريرية
Mémoire émotionelle	ذاكرة انفعالية، عاطفية
Mémoire épisodique	ذاكرة عرضية
Mémoire sélective	ذاكرة انتقائية
Méninges	سحايا
Mental	عقلي/ ذهني
Métabolisme	أيض، استقلاب
Mitochondrie	متقدرة (ميتوكندريون)
Modeler	يقولب، يشكل
Modélisation	نمذجة
Modéliser	ينمذج
Morphométrie	قياس الأشكال
Myéline	ميالين/ نخاعين

N

Nerf	عصب
Neuroblaste	رأب العصب

Neurogenèse	تخلق النسيج العصبي
Neurologie	طب الجهاز العصبي
Neuromodulateur	مُعدِل عصبي
Neurone	عصبون
Neurotransmetteur	ناقل عصبي
Neutrophines	نتروفينات
Noyau accumbens	نواة متكئة
Noyaux gris	نويات رمادية

O

Oxydant Radical	مؤكسد فعال

P

Pallidum	جسم شاحب
Perception	إدراك
Performance	أداء
Périphérique	طرفي
Phrénologie	علم فراسة الدماغ
Plasticité	لدونة
Post-subiculum	مؤخرة المرفد
Préfrontal	قبل الجبهي
Presubiculum	قادمة المرفد

R

Raisonnement fluide	تفكير سائل
Région	منطقة
Remodelage	إعادة قولبة/ إعادة تشكيل

S

Spina	شوكة
Stimulus	مثير
Stress	إجهاد، إرهاق، كرب
Striatum	جسم مخطط
Synapse	مشبك عصبي
Syndrome dysexécutif	متلازمة عسر التنفيذ

T

Thalamus	مهاد
Tomographie par émission de positons (TEP)	تصوير مقطعي بالإصدار البوزيتروني

V

Ventricule	بطين، تجويف

كشاف الموضوعات

غ

ف

ق

ك

ل

م